

Вильгельм Оствальд.

ЦВЕТОВЕДЕНИЕ

Пособие для химиков, физиков, естествоиспытателей, врачей, физиологов, психологов, колористов, цветовых техников, печатников, керамиков, красильщиков, ткачей, художников, кустарей, живописцев плакатов, рисовальщиков узоров, модистов.

Перевод З. О. Мильмана,

под редакцией и с предисловием С. В. Кравкова,

преподавателя Высших Художественно-Технических Мастерских в Москве.



Акционерное „ПРОМИЗДАТ“ Общество
Москва — 1926 — Ленинград

Типо-литография ЦУП ВСНХ
„НОВАЯ ДЕРЕВНЯ“
Москва, 2-я Рыбинская, д. 3.
Главлит 60.965.—Тираж 3.000.





Приводимые в конце книги цветные таблицы выполнены проф. **Н. В. Туркиным** *по его оригинальному способу цветного печатания. Выполненный* **Н. В. Туркиным** *круг цветовых тонов был в свое время вполне одобрен* **Вильг. Оствальдом**. *Необходимо все же оговориться, что приводимые ниже на цветных таблицах цвета, будучи* **очень близки** *к оствальдовским нормам, не все* **вполне** *тождественны с ними.*

Редактор.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

О значении работ В. Оствальда в области учения о цветах.

За последние десять лет Вильгельмом Оствальдом опубликован целый ряд работ, посвященных учению о цветах. Большинство их вышло в издании Unesma в Лейпциге. Не претендуя на вполне исчерпывающий список этих работ, мы назовем здесь: Das absolute System der Farben (Zeitschr f. physik. Chemie, Bd. 91, 1916); Neue Forschungen zur Farbenlehre (Physikalisch Zeitschr., Bd. 17, 1916); Die Farbenfibel, выдержавший уже около 10 изданий; содержит выполненные ручным способом цветные таблицы; Beiträge zur Farbenlehre (Abhandl. d. k. sächs Ges. der Wissenschaften, Bd. 34, 1917); Das absolute System der Farben II (Zeit. f. phys. Chemie, Bd. 92, 1917); Der Farbenatlas, содержащий до 2500 нормированных цветов; Mathetische Farbenlehre, 1918; Goethe, Schopenhauer und die Farbenlehre, 1918; Einführung in die Farbenlehre, 1919; Physikalische Farbenlehre, 3 Aufl. 1923. Die physiologische Farbenlehre 1919; Die Harmonie der Farben, 3 Aufl. 1923; Farbschule. Eine Anleitung zur praktischen Erlernung der wissenschaftlichen Farbenlehre. 3 Aufl. 1921; Der Farbkörper und seine Anwendung zur Herstellung farbiger Harmonien, Farbnormenatlas; Farbkunde. Verlag von Hirzel, 1923. Кроме того, Оствальдом же, начиная с 1921 года, издается журнал «Цвет» (Die Farbe), посвященный всем отраслям цветоведения; наряду со многими другими проблемами, в нем рассматриваются специально и вопросы постановки преподавания цветоведения в общеобразовательных и специально художественных школах, вопросы чистого и прикладного искусства, наконец, вопросы техники и цветовой промышленности.

Сообразно с этим, преподавание цветоведения начинает проникать в художественные, ремесленные и даже общеобразовательные школы Германии; в качестве учебных руководств используются упомянутая уже выше «Школа цвета» (Farbschule), а также Farbenlehre für die Schule, составленное *M. Schaller'ом* и *M. Bühler'ом* и предназначенное главным образом для учащихся.

Еще более широкое применение оствальдовское учение о цветах уже нашло себе в германской текстильной промышленности, равно как и на заводах всякого рода фарфоровых изделий, в цветной промышленности вообще. Один из руководителей государственной фарфоровой фабрики в Мейссене, проф. Ахтенхаген, напр., в самых восторженных выражениях отзывается о практической полезности оствальдовского цветового атласа... «Применение его на государственной фарфоровой фабрике в Мейссене оказалось весьма плодотворным. Уже теперь, всего через несколько месяцев пользования им, мы имеем многочисленные доказательства его превосходной пригодности для практики; это рисует нам самые радужные перспективы в будущем»...

Несмотря на все это, у нас в России все достижения Оствальда в области цветоведения остаются очень мало еще известными не только для широкой читающей публики, но даже и в кругах специалистов художников, текстильщиков и других лиц, имеющих дело с красками. Насколько мне известно, изложение учения Оствальда на русском языке имеется лишь в сжатой статье самого *Оствальда* «Новое учение о цветах и его применение в технике» (напечатанной в журн. «Химическая Промышленность», Берлин, № 7 1923 г. и № 1 1924 г.), в брошюре С. О. Майзеля («Цвета и краски». Научное книгоиздательство, 1923 г.), уже вышедшей ныне из продажи, и в моей обзорной статье (С. В. Кравков. Учение о цветах В. Оствальда. «Журнал Психологии, Неврологии и Психиатрии». Том III, 1923 года).

В силу всего вышесказанного, нельзя не признать чрезвычайно желательным и своевременным появление в русском переводе большой книги самого Оствальда—«Цветоведение» (Farbkunde. Leipzig, 1923 г.). Выбор именно этого сочинения удачен еще и потому, что «Цветоведение» является книгой, охватывающей предмет наиболее всесторонне: наряду с историко-критическим очерком развития учения о цветах, в нем изложены существенные теоретические точки зрения Оствальда, его учение о гармонических сочетаниях цветов, наряду с этим достаточно подробно описаны практически-прикладные методы измерения цветов, равно как и физико-химическая технология красящих веществ. Недаром и сам Оствальд, в своем введении характеризует предлагаемый труд как «Sammelwerk».

Пользуясь первым появлением на русском языке книги Оствальда, мы считаем не лишним остановиться на оценке значения всей его системы как для теоретических наших знаний психо-физиологии цветоощущения, так и для практики живописи и всякого рода цветной промышленности. В иностранной литературе работы Оствальда привлекли к себе, как уже было выше сказано, большое внимание. В результате этого появился ряд работ критического характера, а наряду с ним и ряд попыток дальше усовершенствовать и развить оствальдовские предложения.

Следует отметить далее общее, пренебрежительное даже, отношение Оствальда к разработке всякого рода чисто теоретических вопросов психо-физиологии зрения. В предлагаемой ниже вниманию читателя книге имеется достаточно мест, ясно говорящих нам о том, что с оствальдовской точки зрения построение и оценка всякого рода теорий есть лишь непроизводительная трата времени и сил. Неудивительно, поэтому, что собственные высказывания Оствальда по такому, напр., вопросу, как вопрос о числе перципирующих элементов в нашем зрительном аппарате, ограничиваются указанием на то, что наш цветовой орган состоит по крайней мере из пяти частей, каждая из коих реагирует по-своему: ощущением или желтого или красного, или синего, или морского зеленого, или лиственно-зеленого, так как весь круг цветов распадается на одноцветные участки светлого и темного, при рассмотрении его через minimum 5 светофильтров. Не следует, однако, забывать, что трехцветная теория зрения Юнга-Гельмгольца нашла себе ныне многочисленные и несомненные подтверждения. Недавние работы американского ученого *Фр. Аллена* [1]), напр., определенно показали, что в основе нашего цветоощущения лежат *три* перципирующих элемента, возбуждение одного из коих дает ощущение красного, другого—зеленого и третьего—фиолетового. Поэтому теоретические предположения на этот счет Оствальда удовлетворительными признаны быть не могут.

Несомненно ценно подчеркивание Оствальдом той большой разницы с психологической точки зрения, какая существует между цветами, взятыми изолированно и вне восприятия нами условий их освещенности (каковы, напр., бывают цвета в поле зрения спектроскопа) и цветами, как они даются нам в обычных условиях воспринимания нами окружающих нас цветных предметов. Первые не имеют того налета грязности или серости, который почти всегда присущ цветам второй группы, цветам «соотнесенным», по терминологии Оствальда. Нельзя, однако, не указать здесь, что это различие не осталось незамеченным и для *Гельмгольца*. «Серая бумажка, находящаяся на солнце, пишет он [2]), может быть светлее, чем белая, находящаяся в тени, и, все же, казаться серой, в то время как последняя кажется белой... Мы имеем постоянную склонность разделять во впечатлении цвета какого-нибудь предмета то, что зависит собственно от цветной поверхности и что от освещения»... Вновь указывая на подобного рода явление *Оствальд* [3]) полемизирует с *Гельмгольцем* по вопросу о том, какими переменами следует характеризовать всякий цвет. У *Гельмгольца* [4]) таковыми были *сила света* (Lichstsärke), *цветовой тон* (Farbenton)

---

[1]) Fr. Allen. On Four Transition Points in the Spectrum etc. Philosophical Magazine, t. 38. 1919; см. и ряд его работ, напечатанных в 1923 и 1924 г. г. в Journal of the Optical Society of Amerika.

[2]) H. v. Helmholtz. Handbuch der physiologischen Optik, Bd. II. 1911, S. 110.

[3]) W. Ostwald. Physikalische Farbenlehre, 1923, S. 53.

[4]) H. v. Helmholtz, ib, S. 110.

и *насыщенность* (Sättigung). Оствальд справедливо замечает, во-первых, что цвет может казаться неизменным и при изменении силы света (Lichtstsärke), напр., вследствие соседства с другими цветами или восприятия нами особых условий освещения, во-вторых же, что простое изменение Lichstsärke не дает того налета серости, загрязненности, каковой имеет большинство цветных вещей. *Оствальд* примыкает здесь к *Герингу*, подошедшему к данному вопросу более с психологической точки зрения. По *Герингу* [1]), всякий цвет с описательной стороны характеризуется долей в нем *хроматического* цвета, долей *белого* и долей *черного*; различные соотношения этих долей и делают данное цветное впечатление более или менее насыщенным, более или менее темным, более или менее светлым. Не надо забывать лишь, что *Геринг* имел здесь в виду чисто описательные характеристики, обозначающие различные *степени сходства* с чистым цветом и тем или иным серым. *Оствальд* [2]) примыкает к Герингу. В качестве трех переменных, характеризующих всякий цвет, он называет: *чистый цвет* (или «полный цвет», долю собственно хроматическую), *белый* и *черный* (V, W, S). Идя дальше Геринга, Оствальд стремится дать этим переменным (поскольку речь идет о пигментных цветах) определенный количественный смысл.

Исходя из того факта, что кажущиеся цвета остаются в широких границах неизменными при изменении яркости и качества освещения, Оствальд полагает, что кажущийся цвет есть функция коэффициента отражения данной поверхности в тех или иных лучах. Поэтому-то об'ективно более яркая серая бумажка на ярком свете и кажется нам все же серой, более темной, по сравнению с об'ективно менее яркой, слабо освещенной белой бумагой. О методах предложенных Оствальдом для количественного определения величин V, W, S мы скажем ниже. Здесь же заметим, что придание *физического* смысла описательно-психологическим характеристикам Геринга есть несомненная заслуга Оствальда. Не следует лишь думать, что измерение оствальдовских V, W, S исчерпывает собою все факторы, от которых зависит психологическое впечатление цвета. Явления изменения цветности под влиянием контраста,— когда, напр., об'ективно-одинаковые желтые поля лежат при одном и том же освещении—одно на белом, а другое на черном фоне,—определениями оствальдовских переменных характеризованы быть не могут, как не могут быть характеризованы ими и изменения кажущегося цвета под влиянием так называемых «цветов памяти», и тому подобные более сложные случаи цветового восприятия. Не следует думать также, что оствальдовские коэффициенты, характеризующие цвет, делают излишними вышеприведенные 3 переменные Гельмгольца. Этого отнюдь нет, поскольку последние могут характеризовать *физиологические* процессы в нашем воспринимающем органе и быть количественно определены при помощи трех кривых основных цветовых возбуждений. Такие кривые, как извест-

---

[1]) E. Hering. Die Lehre vom Lichtsinn. 1905, S. 49—55.
[2]) W. Ostwald. Physikalische Farbenlehre. S. 182.

но, устанавливались рядом ученых: *Кенигом* и *Дитеричи, Эбни* и *Уотсоном, Лазаревым.* Не надо забывать лишь того, что кажущийся цвет есть обычно результат весьма сложного механизма восприятия; вышеприведенные же три коэффициента могут вполне определять цвета лишь в их самой простой и изолированной данности нам.

Интересно, далее, с теоретической точки зрения введенное *Оствальдом* новое определение полного или насыщенного чистого цвета, применительно к ***пигментным*** цветам. По сравнению с цветами спектральными все они кажутся малонасыщенными. До Оствальда у нас не было постоянной нормы для максимально насыщенных пигментных цветов. В силу же разных причин, между прочим, и того, что именно спектральные (монохроматические) цвета кажутся нам наиболее насыщенными, существовала тенденция думать, что пигментные цвета окружающих нас вещей тем более насыщенны, чем они больше приближаются к монохроматичности. На основании собственных специальных измерений ряда цветных накрасок, *Оствальд,* в противность этому распространенному взгляду, утверждает, что наиболее «полноцветным» пигментный цвет кажется не тогда, когда он отражает (подразумевается: в такой же степени, как идеально белая поверхность) очень узкий участок спектра, но когда им отражается целая половина спектра, ограниченная как раз двумя дополнительными цветами. Об этом и трактует оствальдовское «учение с цветовом полукруге». *Боненбергер* [1]), ссылаясь на свои, не опубликованные еще, эксперименты, пытается оспаривать утверждение Оствальда указанием на то, что не для всех цветов полноцветность соответствует отражению именно полуспектра. Однако, дальнейшие его рассуждения о зависимости требуемой здесь ширины полосы отражения от яркости света говорят за то, что Боненбергер упускает из вида существенную мысль Оствальда, именно принятие в качестве максимальной величины отражения для всякого пигментного цвета величины отражения от идеально *белой поверхности.* Поэтому, когда Боненбергер утверждает, что без изменения кажущейся насыщенности возможно суживать границы отражаемых лучей, если в то же время усиливать яркость их, это не есть опровержение тезиса Оствальда, имеющего в виду в обоих сравниваемых случаях одинаковое максимальное отражение.

Учение *Оствальда* «о цветовом полукруге», как носителе впечатления наибольшей полноты пигментного цвета, теоретически интересно тем, что наряду с описательными характеристиками цвета по цветовому тону, светлоте и насыщенности вынуждает принять еще дополнительную четвертую характеристику по «полноцветности» или [2]) «интенсивности цве-

---

[1]) Fr. Bohnenberger. Die Bedeutung der Ostwaldschen Farbenlereh Tübingen. 1924. S. 17.

[2]) См. дополнения Н. Т. Федорова к его переводу книги Рихтера «Основы учения о цветах для художников и деятелей художественной промышленности», печатаемой в Государств. Издательстве.

та», каковая в пигментных цветах является функцией одновременно и яркости и насыщенности (измеряемой отношением величины собственно цветного возбуждения к ней же плюс белое, $\frac{f}{f+w}$).

Со всем этим мы все же видим, что для теоретических проблем психо-физиологии зрения работы Оствальда дают в сущности мало. Но не в этой плоскости полагал и сам *Оствальд* цель своих трудов. Он прежде всего стремился к разрешению чисто *практических* задач *измерения, нормирования и систематизации цветов.* С бесспорной правотой Оствальд указывает на исключительную неупорядоченность для нас мира цветов по сравнению, например, с миром звуков. А между тем, несомненно, что большая часть наших знаний о мире имеет под собой, в конце-концов, зрительный источник, т.-е. цвета. Имеющиеся в обиходе обозначения разных цветов и оттенков необычайно бедны по сравнению со множеством самих впечатлений; в спектре, например, мы называем в лучшем случае 20—22 цвета, в то время как наш глаз может различить их там при наилучших условиях более 100. Нечего говорить о том, что употребляемые обозначения весьма неустойчивы и суб'ективно непостоянны. А между тем целые громадные области производства, как, например, красильное дело в текстильной промышленности, помимо ряда других,—настоятельно нуждаются в точной фиксации цветов и их обозначений. Таким образом, то, к чему прежде всего стремился Оствальд в своих трудах по цветоведению, действительно, является насущной потребностью нашего времени. Но Оствальд не только верно почувствовал эту назревшую потребность, но и достаточно хорошо удовлетворил ее. В этом-то и заключается главное значение и ценность всех его работ в рассматриваемой области. Как мы увидим ниже, разрешение названных выше практических проблем Оствальдом не является во всем безупречным и окончательным. Но, ведь, это всего лишь первые шаги; а не надо забывать, что первые шаги есть всегда самые трудные.

Исходя из того, что любой пигментный цвет может быть выражен как $V+W+S=1$ или 100, *Оствальд* прежде всего и ищет *методы количественного определения* этих *3 составляющих цвета,* т.-е. величин V—полного или чистого цвета, W—белого и S—черного. Никакой пигментный цвет не может отражать лучей больше, чем идеально белая поверхность. Чисто-красная поверхность отражает столько же красных лучей, сколько и белая, и потому в чисто красном освещении или через красный светофильтр выглядит тождественно с белой. В дополнительных лучах или через светофильтр дополнительного цвета она должна казаться черной. Но таких идеальных положений фактически не бывает. В обоих случаях измеряемая красная поверхность оказывается равной некоторым серым цветам, в первом случае—более светлому h_1, во втором—более темному h_2, каковые и даются той или иной ступенью бело-черной шкалы. Разность $h_1 - h_2 = V$; $h_1 = V + W$; $1 - h_1 = S$. *Оствальд* начал

с освещения измеряемой цветной поверхности монохроматическими лучами соответственного и дополнительного света. Затем же измерения стали им производиться путем рассматривания цветов через светофильтры. Естественно возникали сомнения и возражения по поводу подобного приема измерения. Светофильтр соответствующего света пропускает лишь узкую область лучей спектра, пропускает лишь лучи максимально отражаемые данной поверхностью, а светофильтр же дополнительного цвета пропускает при тех же условиях лишь минимально отражаемые лучи. Разность того и другого дает, по Оствальду, величину доли чистого или полного цвета. Но, спрашивается, разве характер цвета данной поверхности всецело определяется только величиной максимума и минимума в ее спектре отражения? Ведь и при совпадении максимумов и минимумов два спектра отражения могут весьма друг от друга отличаться во всех прочих местах кривой, что, конечно, не остается безразличным и для результирующего ощущения. На эту-то возможность получения ошибочных результатов и указывали авторы, выступавшие с критическими оценками учения Оствальда, как-то: *Фр. Кольрауш* [1]), *Шредингер* [2]), *Боненбергер* [3]). Несомненно, подобное возражение против оствальдовской методики правильно. Спрашивается лишь—насколько указанное несовершенство ее не может быть устранено и насколько даваемые ею в настоящем виде результаты неверны. Принципиально говоря, методика Оствальда стала бы безупречной, если бы мы могли приготовить светофильтры, целиком пропускающие одну половину спектра и целиком же поглощающие другую. Пока таких фильтров в нашем распоряжении нет, что и вызывает при вычислении V, W и S известные ошибки в ту или иную сторону. Как показал *Кольрауш*, наиболее верно оствальдовскими приемами мы можем оценивать цвета оранжевые и желтые. *Оствальд* [4]) настаивает, однако, вообще на незначительности погрешностей, вызываемых указанными выше причинами, и ссылается при этом на свой опыт промерки многих тысяч цветных накрасок.

Измерения *А. Хюбля* [5]), далее, произведенные на особом аппарате для синтеза цветов из трех, взятых за основные, показали, что результаты, опять-таки, по крайней мере для области желтых тонов, хорошо согласуются с результатами, полученными по методу Оствальда. Так, измерения одного и того же цвета дали:

---

[1]) Fr. Kohlrausch. Bemerkungen zur Ostwaldschen Theorie der Pigmentfarben. Physikalische Zeitschr. Bd. 21, 1920, S. 477—479.

[2]) S. Schrödinger. Ueber Farbmessung. Physikal. Zeitschrift. Bd. 26, 1925, S. 349—352.

[3]) Fr. Bohnenberger, op. cit, S. 20.

[4]) W. Ostwald. Physikalische Farbenlehre, S. 205.

[5]) A. v. Hübl. Ein Farbenmessapparat. Physikal. Zeitschr. Bd. 18, 1917, S. 270—275.

	По Оствальду.	По Хюблю.
Цветовой тон.	07	07
W.	16	19
S	53	53
V.	31	28

Заслуживает внимания, наконец, усовершенствование оствальдовской техники определения V, W и S, предложенное *Л. Блохом* [1]). Оно состоит в использовании для этих целей оствальдовского же полутеневого фотометра. Стандартная белая поверхность занимает одну половину поля зрения фотометра. На другую кладется измеряемая цветная поверхность и промеривается относительно белой последовательно через красный, зеленый и синий светофильтры. Эти последние подбираются так, чтобы пропускательная способность их для разных лучей взаимно дополнялась бы и будучи сложены все вместе они давали бы нейтральный цвет. Из полученных величин красного (R), зеленог (G) и синего (B) посредством несложных подсчетов и оказывается возможным определить и V, и W, и S, равно как и номер цветового тона по оствальдовской шкале. Преимущества метода Блоха состоят в том, что 1) здесь *одним* прибором можно определить и цветовой тон, и подмесь белого и черного и 2) для определения последнего оказывается достаточным пользоваться всего 3 светофильтрами (вместо 6-ти оствальдовских). Подвергая данную цветную накраску влиянию света в течение долгого времени и промеряя ее при этом время-от-времени, можно точно определить характер изменений, претерпеваемых цветом, сравнить ее светопрочность со светопрочностью другой накраски и разрешить таким путем ряд чисто практических задач.

Свои измерения цветов Оствальд применил для *систематизации* их. Тем самым им впервые давалась *количественно упорядоченная* система цветов. Впервые им же здесь был использован в полной мере и веберофехнеровский закон, определяющий психологическую равновеликость переходов от одной цветовой ступени к другой. Из даваемого самим Оствальдом исторического очерка попыток систематизации цветов, делавшихся до сего времени, не трудно видеть, насколько оствальдовская конструкция цветового тела в виде *двойного конуса* рациональнее всех их и практичнее, поскольку у Оствальда мы имеем дело с твердо количественно фиксированными нормами, однозначно обозначаемыми цифрой и двумя буквами. Как справедливо подчеркивает сам Оствальд, такая

---

[1]) L. Bloch. Ein Farbenmesser und sein Gebrauch für Ostwalds Farbenlehre. Zeitschr. f. technische Physik. Bd. 4. 1923, S. 175—182.

система обозначения необычайно упрощает и уточняет, например, всякого рода словесные, почтовые и телеграфные сообщения, касающиеся цветов.

Мы не можем, однако, считать оствальдовский двойной конус цветов окончательным разрешением проблемы систематизации цветов. Несмотря на количественный принцип его построения и рациональное расположение цветовых рядов в нем, ему присущи все же некоторые совершенно определенные несовершенства. С психологической точки зрения экваториальный круг максимально насыщенных цветов никак не может лежать в горизонтальной плоскости, поскольку составляющие его цвета кажутся нам различными по своей светлоте: желтый—ближе к белой вершине, чем синий. *К. Пульфрих* [1]) сопоставлял с серым смеси нейтрализующих друг друга дополнительных цветов оствальдовского круга *pa* и нашел при этом, что в результате смеси этих пар получаются серые цвета неодинаковой светлоты; нужные для нейтрализации количества дополнительных цветов также не равны друг другу. В силу всего этого оствальдовский ряд цветов, расположенный по экватору двойного конуса, *не* должен быть *кругом*. Как установил еще раньше *В. Зейтц* [2]), путем специального экспериментирования над семью лицами, оствальдовские цвета круга *pa* и других наиболее насыщенных кругов, будучи по Оствальду равно насыщенны,—суб'ективно таковыми не кажутся. Наконец, всякий видевший цветовой круг Оствальда, может без труда заметить, что равноступенности переходов от цвета к цвету Оствальду соблюсти не удалось: зелено-синие тона лежат гораздо теснее друг к другу, по сравнению со всеми прочими. Это опять говорит за недостаточное соответствие оствальдовского цветового тела непосредственно психологической характеристике цветов. Лучше связать и эту сторону с количественно упорядоченным расположением цветов — есть, очевидно, еще дело будущего. Для практического же пользования цветами оствальдовская конструкция в настоящее время является, несомненно, наиболее совершенной. Заслуга Оствальда здесь тем больше, что он не только теоретически сконструировал свое цветовое тело, но и воплотил составляющие его цвета в подлинные цветные накраски, проделав громаднейшую работу по *фактическому изготовлению цветового атласа* и многочисленных цветовых шкал. В настоящее время в продаже имеется его атлас, содержащий 680 нормированных цветов.

Работы Оствальда не остались чужды и более непосредственно близким для живописца вопросам. Как известно, большое внимание уделено им вопросам гармонии цветов. И здесь им сделаны первые, новатор-

---

[1]) C. Pulfrich. Ueber ein den Empfindungstufen des Auges angepasstes Photometer. Zeitschr. f. Instrumentenkunde. 1924, Heft 3, S. 118—119.

[2]) W. Seitz. Ueber die Definition der Sättigung einer Farbe nach Helmholtz und Exner und über das Ostwaldsche Farbensystem. Zeitschr. f. Sinnesphysiologie. Bd. 54. 1921, S. 151—158.

ские, шаги. Указан принцип, коему следуют гармоничные сочетания. Этот принцип по Оствальду: гармония—закономерность. Получив возможность измерять цвета, мы получаем возможность и сознательно создавать закономерные комбинации их. Несомненно, что впечатление гармоничности или негармоничности цветов определяется в известной мере и ассоциативными, центральными факторами, осложняющими вышеприведенное простое правило Оствальда. Оно заслуживает, однако, всяческого внимания со стороны лиц, работающих с цветами, и тщательной систематической экспериментально-психологической проверки.

Если мы ко всему вышесказанному добавим еще, что Оствальдом же приготовлены и различные наборы нормированных красок, очень удобные для школьной практики по цветоведению, то станет понятным все громадное значение его для этой области. Какие бы несовершенства еще ни были присущи его методам и толкованиям, твердое начало количественному упорядочению мира цветов положено все же им.

С. В. КРАВКОВ.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ.

ОБЩЕЕ УЧЕНИЕ О ЦВЕТАХ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

История учения о цветах.

Общее. В научной литературе еще не имеется основательного труда, посвященного истории науки о цветах.

Гете, который в течение многих лет собирал материал для такой работы, имея в виду дать связное изложение предмета, отказался от своего намерения при попытке осуществить свой план, и ограничился изданием собранного материала в необработанном виде. Он понимал, что подобный труд представлял бы весьма ценное научное произведение, но считал себя не обладающим в достаточной мере необходимыми специальными познаниями.

Другие исследователи в этой области шли по тому же пути, т.-е. собирали материал и издавали его; но для целостного, связного изложения данная отрасль науки оказывалась все еще не вполне созревшей.

Первые попытки. Попытки греческих и римских авторов выяснить природу наших цветовых переживаний очень несовершенны. Древние авторы перечисляют, как различные цвета, только белый, черный, желтый и красный. Встречающиеся в памятниках искусства египтян также синий и зеленый цвета не рассматриваются, как самостоятельные, а причисляются к черному цвету.

Из описаний красящих веществ и по сохранившимся сочинениям о красках видно, что древним народам были известны также синие красящие вещества. Вероятно, яркий зеленовато-синий силикат медно-натриевой соли, который еще и теперь называется египетской голубой, был первым искусственно приготовленным красящим веществом. Древним были известны также индиго, медная лазурь и, позднее, ультрамарин. Для получения желтых и красных тонов служили соответствующие, часто встречающиеся в природе, сорта охры. В качестве черной краски употреблялся измельченный уголь. Связывающим веществом (цементом) были камедь и воск.

Подобно тому, как в древнем периоде исторического развития музыки, тот или иной музыкант к первоначальным пяти тонам гаммы прибавлял еще один тон,—в истории практического использования красок можно наблюдать, как средства крашения умножались с открытием новых красящих веществ. Бесчисленные опыты получения красок из различных, встречающихся в природе красителей—цветов растений,—не удавались, так как полученные соединения оказывались весьма непрочными. Однако, с течением времени удалось найти некоторые красители,—

как в животном, так и в растительном мире,—удовлетворяющие и более строгим требованиям.

Древним принадлежит открытие пурпура в некоторых улитках; Средние века дали нам зеленое красящее вещество крушинной ягоды, желтое, красное и фиолетовое красильных деревьев, кармин и шафран. Древним были также известны сурик и киноварь, между которыми они не делали различия. Средние века добавили еще синие кобальтовые вещества.

Развитие химии с 18-го столетия очень быстро пополнило этот список. Появление берлинской лазури, швейнфуртской зелени, различных соединений хрома, искусственно приготовленного ультрамарина—отмечает последовательные ступени этого развития. Количество органических красителей также увеличилось, благодаря все более оживляющейся мировой торговле.

Целые потоки красителей полились на мировой рынок, благодаря открытию—во второй половине 19-го века—синтеза красящих веществ из продуктов сухой перегонки каменного угля. Мы еще и теперь находимся в этой области в стадии дальнейшего развития.

Теперь, после того как уже найдены в щелочных и кислых красящих веществах представители всех цветов, работа ведется в том направлении, чтобы придать краскам наибольшую стойкость и прочность по отношению к выцветанию, трению, мытью, поту, грязи и т. д., какую только позволяет достичь современная техника.

Красящие вещества и цвета. Предыдущий обзор развития наших знаний *о красящих веществах* мы привели как необходимое введение для изучения цветов.

Грандиозная попытка методического изложения науки о цветах, сделанная *Гёте*, не удалась потому, что в его эпоху непосредственно были еще мало изучены зеленые и фиолетовые цвета, ибо существующие в то время красители не были достаточно чистыми.

Мы должны строго различать понятия: *цвет и краска* (красящее вещество).

Цветом называется то ощущение, которое возникает в результате передачи соответствующих внешних раздражений, вызванных светом,—через посредство глаза и зрительного нерва—в мозг. Цвет можно ощущать и без краски: стоит только закрыть глаза и слабо прижать глазное яблоко, как появятся различные цветовые и световые эффекты. Существуют люди, и таких не мало,—которые по произволу в самой глубокой темноте, без всякого внешнего разражения, могут вызвать в своем сознании цветовые образы.

Мы должны, поэтому, раз навсегда принять к сведению, что словом «цвет» обозначается лишь определенный класс психических переживаний, именно те переживания, которые возникают у нас, обычно, благодаря раздражению глаза лучистой энергией или светом; но это же самое переживание мы можем получить и другими путями—через какое либо иное раздражение зрительного нерва или же в результате некоторой внутренней деятельности. Те же химические вещества, при виде которых у нас появляется ощущение «цвета», называются *красящими веществами*. Энергия, которая обычно обусловливает такое раздражение глаза, называется светом.

Ньютоновское учение о цветах. Замечательно, что несмотря на знание многочисленных красок, находивших себе применение в уже высоко развитой живописи—попытки расположить все цвета в стройную и удобообозримую систему долгое время отсутствовали.

Даже *Леонардо-да-Винчи* (1452—1519), являющий собой столь редкую комбинацию дарований, человек высокой художественной одаренности и строгого научного мышления,—даже он, с его даром научных предвидений, не высказал ни одной ценной мысли в столь близкой ему области.

Понадобилось вмешательство совершенно с другой стороны,—со стороны физики,—чтобы доказать самую возможность научно обоснованного упорядочения мира цветов. Этот шаг вперед удался *Исааку Ньютону* (1643—1727), первым достижением которого было открытие зависимости между преломлением света и цветом. Он доказал, что белый свет, который до него принимали за однородный, разлагается после преломления в призме на множество разнородных световых волн, характеризуемых различной преломляемостью.

Параллельно с этим чисто физическим явлением идет другое, чисто *психологическое*, — а именно ощущение цвета, которое вызывается в глазу этими отдельными составляющими белого света. Цвета образуют беспрерывный ряд, как и различия в преломлении.

Свет наименьше преломляемый вызывает ощущение красного цвета; затем следуют цвета: оранжевый, желтый, лиственная зелень (желто-зеленый), морская зелень (сине-зеленый), холодно-синяя (зелено-синий), синий (ультрамарин) и, в самом конце, фиолетовый, которому соответствует самое сильное преломление.

Позднейшие исследования установили, что имеется еще «невидимый свет» с обоих концов спектра, т.-е. лучистая энергия, не вызывающая в нашем глазу ощущения цвета, а потому и не видимая. В дальнейшем мы ею не будем заниматься.

Благодаря близкой ассоциации, между двумя упомянутыми родами явлений издавна признавалась зависимость более тесная, чем существует на самом деле. Так как вышеупомянутые цвета вполне определенно соответствуют световым волнам с определенными показателями преломления (что в дальнейшем было сведено к длине световой волны и числу колебаний), то и предполагали, что связь физических свойств раздражения с психологическими явлениями непосредственна; поэтому не раз делали попытку установить между числом колебаний и цветом такую же тесную закономерную связь, какая существует между числом колебаний и высотой тона в мире звуков. Ни одна из подобного рода попыток не удалась, и в дальнейшем нам станет понятным, почему такая неудача была неизбежна.

Противоречие. В то время как высота тона звука и число колебаний так связаны между собой, что все время с увеличением числа колебаний тон становится выше и наоборот,—так что звуки, соответствующие геометрическому ряду чисел колебания а. 2^n (где «а» есть любое число, а для «n» берем последовательно натуральный ряд чисел—1, 2, 3, 4 и т. д.), дают психологический ряд равнозначащих ступеней (октав)—цвета же ведут себя совсем иначе.

С возрастанием числа колебаний, цвета вначале удаляются от первоначального цвета (красного)—также, как это имеет место у звука. Но это удаление не является постоянным; достигая цвета «морской зелени» (Seegrün), цвета опять начинают приближаться к красному, и в фиолетовом почти совпадают с ним. Невероятность этого нас только потому и не поражает, что явление это знакомо нам с детства. Действительно, мы нигде не встречаем подобного соотношения; мы не знаем такого случая, когда при изменении раздражения в одном и том же направлении ощущение изменилось бы в том же направлении, а затем делало бы поворот и начинало приближаться к первоначальному исходному

ощущению. В то время как красный и фиолетовый цвета наибольшим образом отличаются друг от друга в отношении числа колебаний и длины волн, так как находятся на противоположных концах спектора, который охватывает весь видимый свет,—ощущения соответствующие этим наиболее различным раздражениям совсем близки друг к другу, и стремятся как бы к тождеству.

В дальнейшем мы будем иметь возможность вернуться к этой проблеме, чтобы разрешить указанное противоречие. Здесь мы имеем в виду только предостеречь читателя от ошибочного пути, на который многие серьезные исследователи попадали и с которого потом уже никогда не сходили.

Цветовой круг. Открытие Ньютона, первоначально, было во всяком случае настолько интересным и плодотворным, что вышеуказанное затруднение не чувствовалось. Ньютон непосредственно применил свое открытие к первичному упорядочению мира цветов, расположив в замкнутый *цветовой круг* цвета своего «спектра», полученные посредством призмы, разлагая белый свет на его составные элементы и добавляя недостающий, но имеющийся в живописи и крашении,—пурпурный цвет. Это дало вполне определенный ряд «цветовых тонов» (как мы будем отныне называть это свойство цветов), в котором каждый цвет связан с соседним посредством непрерывных переходов. Эта непрерывность указывает на то, что можно постепенно, без всяких скачков, перейти от одного цветного тона к другому. Кругообразное, в себе замыкающееся расположение цветов указывает на то, что существует два пути от одного цвета к другому, один более короткий, другой более длинный. Так, в цветовом круге можно перейти от желтого к фиолетовому постепенно через оранжевый и красный, или через желто-зеленый, морскую зелень, холодно-синий; последний путь длиннее первого.

Это открытие кругообразного расположения цветов имеет основоположное значение для систематизации цветовых тонов вообще. Здесь вкралась, однако, следующая ошибка. Из того факта, что удалось упорядочить цветовые *тона* полагали, что *цвета вообще* упорядочены, что и с фактической и с логической точки зрения является безусловно грубой ошибкой, неблагоприятные последствия которой распространяются и на наше время.

Деление цветового круга. Ньютон впервые указал, что цветовой круг, благодаря постепенному переходу одного цвета в другой, содержит бесконечное множество разных цветов, которые, однако, можно уложить в небольшое количество естественно образующихся групп. Он различал семь таких групп—по аналогии с семью тонами диатонической гаммы, и таким образом *Ньютон* является предтечею ошибочной тенденции уподоблять цвета звукам. Эти семь цветов были: красный, оранжевый, желтый, зеленый, холодно-синий, ультрамарин и фиолетовый. С 8-ю цветовыми тонами, которые мы в настоящее время различаем, они вполне совпадают, за исключением одного пункта: мы разлагаем зеленый цвет на два цвета—холодную морскую зелень и теплую лиственную зелень. Оба эти цвета для непосредственного ощущения так же различны, как, примерно, красный и фиолетовый.

Семь цветов *Ньютона* стали необычайно популярными. Даже тогда, когда наука и практика в течение нескольких столетий пользовались другой (неудовлетворительной) шестиступенной системой,—семь цветов радуги (в коей фактически мы видим лишь три), и семь цветов белого света играли у поэтов и писателей свою роль; поэты и писатели часто, вообще, раз переняв какую-нибудь уже давно преодоленную наукой ошибку, пользуются ею, как поэтическим средством.

Первым кто попробовал практически испробовать семичленный цветовой круг Ньютона был франкфуртский гравировщик по меди *Ле-Блон*, который около 1730 г. применял семь цветов Ньютона для цветного печатания. Но вскоре он пришел к заключению, что тех же результатов можно достичь пользуясь всего тремя цветами, а именно: желтым, красным и синим. К такому же решению этой проблемы одновременно с ним пришел и его конкурент, Готье из Парижа, вступивший с ним в спор за приоритет.

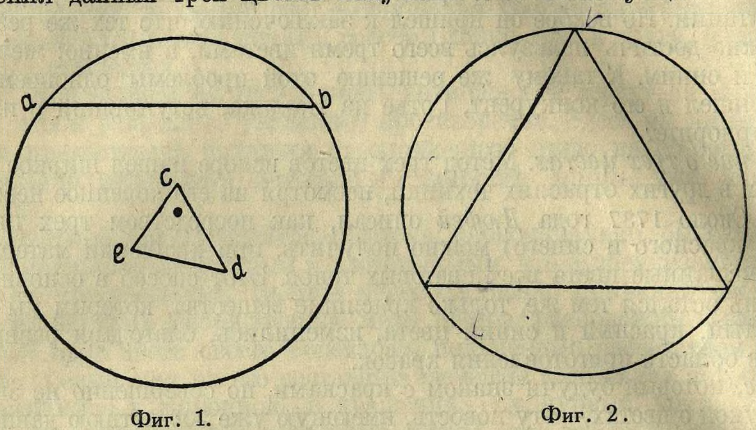
Учение о трех цветах. Метод трех цветов вскоре нашел ширкое применение и в других отраслях техники, несмотря на его коренное несовершенство. Около 1737 года *Дюфей* описал, как посредством трех цветов (желтого, красного и синего) можно получить, при крашении материи и пряжи, смешанные цвета всех цветовых тонов. Этот способ в основном и по сей день остался тем же, только красящие вещества, которым мы придаем желтый, красный и синий цвета, изменились, благодаря развитию техники в области приготовления красок.

Беке, который будучи знаком с красками, но совершенно не знакомый с наукой о цветах,—эту новость, имеющую уже 200-летнюю давность, в наши дни преподнес науке и технике, как свое собственное открытие,—«естественное» учение о цветах, пытаясь прикрыть старые недостатки новыми дополнениями еще более низкого качества. Но развитие шло дальше.

Так как ошибка, о которой здесь идет речь, все же еще очень распространена,—необходимо здесь же указать на ее источник, хотя обстоятельное исследование может быть сделано только впоследствии. Мы заранее высказываем следующее положение: при смешении двух цветов можно получить все цветовые тона, находящиеся между ними. Располагая по Ньютону цвета в круге, мы получаем из смеси каких бы то ни было двух цветов а и в. (фиг. 1)—все цветовые тона цветов, находящиеся между а и в. При дополнении цветового круга всеми смесями цветов с белым, находящимся в центре круга,—таким образом, что из чистых цветов, помещенных по окружности, на каждом соответствующем радиусе, мы получаем все смеси с белым цветом, расположенным,—прямая ав представляет все смеси цветов а и в. Очевидно, что смешанные цвета не так чисты, как цвета их составляющие, потому что в результате смешения одновременно возникает и белый цвет и тем в большем количестве, чем больше а удалено от b. Рассматривая представленную на фиг. 1 геометрическую фигуру, можно придти к заключению, что каждая группа трех цветов, с, d, е, которые так расположены, что образованный ими треxугольник включает в себя центр, могут дать все смеси цветов, соответствующих по цветовому тону всей окружности. Это об'ясняется тем, что какой бы радиус мы ни взяли, он должен, идя от окружности к центру, пересечь одну из этих трех линий смешения цветов. В то же время видно, что число три есть минимальное количество цветов, при помощи которых можно этого достигнуть, так как два цвета дадут только одну линию, которая случайно может и проходить через центр, но никак не образует поверхности, которая бы окружала его. На этом зиждется тот факт, что посредством удачно подобранных трех цветов можно получить все цветовые *тона*, но никоим образом не все *цвета* вообще. Даже в самом удачном случае, когда все три цвета находятся на окружности, на равном друг от друга расстоянии и являются, следовательно, «чистыми» цветами (фиг. 2), даже в этом случае из всей поверхности круга, содержащей в себе все возможные цвета, возникающие из смешения спектральных цветов [1]), наш

[1]) Это замечание имеет весьма большое значение и не должно нами упускаться из вида.

треугольник смешения цветов покрывает лишь $^2/_5$ площади, остальные же возможные смеси цветов, лежащие вне этого треугольника,—посредством смешения данных трех цветов получены быть не могут[1]).



Фиг. 1. Фиг. 2.

Из многих практических последствий, которые отсюда вытекают, отметим только—что совершенно невозможно получать верные по цвету фотографии посредством трехцветной фотографии по аутохромному способу. Гораздо более выгодные условия нам дают такие способы, где вместо аддитивного (слагательного) смешения цветов мы имеем дело с субтрактивным (вычитательным) где, напр., различно окрашенные слои расположены друг на друге. Но даже в данном случае необходимы не три, а пять слоев для того, чтобы результаты были вполне удовлетворительны.

Другие попытки упорядочить мир цветов. Независимо от расположения цветов в спекторе, некоторые художники, и вообще люди, знающие толк в красках, пробовали представить весь мир цветов в удобопонятной форме. Самая старинная таблица красок, изданная в Стокгольме *И. Бреннером* в 1680 г., очень примитивна и представляет собой простое собрание всего имеющегося материала.

Некоторый прогресс мы видим у *Р. Валлера* (1689), который все цвета расположил в виде квадратной сетки; на одной из пересекающихся сторон квадрата он поместил: испанскую белую, горную синь, ультрамарин, шмальту, лакмус, индиго, тушь,—а на другой: белила, свинцовую окись, желтую смолу, охру, желтый сернистый мышьяк, умбру, сурик, жженную охру, киноварь, кармин, сургуч, драконову кровь, красный сурик (красное железо) и сажу. В квадратиках сетки были помещены смеси из соответствующих пар. Как видно из выше сказанного, *Валлер* отделил синие краски от желтых и красных, и поэтому получил смеси только из таких пар. Он упустил, следовательно, из вида то, что полную таблицу он получил бы, разместив на каждой стороне своей сетки все краски; затем, он брал для каждой пары цветов только одну смесь (в равных частях),—иначе его таблица имела бы слишком большие размеры. В этом случае, несомненно, были бы недостаточны и два измерения его таблицы.

Треугольники Майера. Трудности, которые были обойдены, но не преодолены, были отчасти устранены двумя поколениями позже, выдаю-

[1]) Это верно, строго говоря, лишь по отношению к слагательному (аддитивному) или физическому смешению цветов. При вычитательном же (субтрактивном) смешении, имеющем место, между прочим, при крашении, условия несколько более благоприятны—что и будет выяснено нами в дальнейшем.

щимся математиком *Тобиасом Майером* в Геттингене (в 1745 г.). Он исходил из теории трех цветов и приготовил сначала двойные, а потом тройные смеси из основных цветов: желтого, красного, синего,—по ступеням в $^1/_{12}$; таким образом, он получил всевозможные комбинации в пределах 12 ступеней. Все эти смеси он изобразил в виде трехугольника, в углах которого разместил три чистые цвета, по сторонам же коего находились смеси из двух цветов, а внутри треугольника находились смеси из трех цветов.

Кроме этого, он составил еще целый ряд других треугольников, которые также изображали собой смеси из основных цветов с определенной прибавкой белого или черного. Таким образом, он предполагал разместить все мыслимые цвета.

Но он потерпел неудачу, так как не располагал идеальными красителями для своих основных цветов. Кроме того, в центре его первого треугольника образовались тусклые смеси, повторявшиеся и в других треугольниках. *Майер* не опубликовал свою работу: возможно, что он сам видел ее недостатки; она была издана после его смерти *Лихтенбергом.*

Цветовая пирамида Ламберта. Значительный шаг вперед, сравнительно с Майером, сделал *И. Г. Ламберт,* который был не только физиком и математиком, но и недюжинным философом. Следуя по экспериментальному пути, он нашел сперва три красителя, благодаря которым ему удавалось приготовить самые чистые составные цвета. Эти красители были: желтая смола, кармин и берлинская лазурь. Ламберт установил также эквиваленты, т.-е. те количественные соотношения, которые дают правильный средний цвет; понятно, он мог только приблизительно определить их, но неточно измерить. Эти эквиваленты и дали те единицы, с которыми он приготовлял свои смеси. Он констатировал также, что его красители в эквивалентной тройной смеси дают черный цвет. Поэтому ему не было надобности отдельно его подмешивать. Увеличение количества белого цвета Ламберт достигал тем, что свои смеси постепенно, ступенеобразно, все более тонкими слоями, наносил на бумагу, так что белый цвет последней все более просвечивал. В то же время он постепенно уменьшал размеры треугольников, содержащих белый цвет, так как с увеличением количества белого цвета становится все более трудным отличать краски друг от друга. Треугольники были положены один на другой, и таким образом получилась трехгранная пирамида.

Следует признать, что этот труд [1]) содержит множество правильных и ценных мыслей. Так как старое издание этой работы (1772 г.) сохранилось только в нескольких экземплярах, то, в целях популяризации, она будет отпечатана в журнале «Die Farbe», (Leipzig, Verlag Unesma).

Цветовой шар Рунге. Подобно пирамиде Ламберта построен и цветовой шар *О. Рунге* [2]).

Шаг вперед был сделан тем, что белый и черный цвета стали рассматриваться одинаковым образом, чего в предыдущих работах мы не видим. *Рунге* поместил белый цвет на одном полюсе своего шара, черный на противоположном; между обоими, на оси, был помещен серый цвет; наиболее чистые цвета нашли свое место по экватору, а все остальные, как смеси с белым, черным или серым, оказались в соответствующих промежутках.

Шаг назад в его работе заключается в том, что он не сохранил определенных ступеней, как мы встречали это у *Майера* и *Ламберта* (Рунге,

---

[1]) I. H. Lambert. Beschreibung einer mit den Calauschen Wachs ausgemalten Farbenpyramide. Augsburg, 1772.

[2]) Ph. O. Runge. Die Farbenkugel. Hamburg, 1809.

повидимому, не был знаком с их трудами). Благодаря этому он вновь удалился от мысли *о нормированнии* цветов, что мы встречаем уже у этих более старых исследователей. В остальном его труд должен быть отмечен как почти окончательное решение вопроса.

Цветовой полушар по Шеврёлю. Двумя поколениями позже (1861 г.), химик *Шеврёль* опубликовал свою систему цветов. Она бы, конечно, не могла претендовать на то, чтоб об ней упоминалось в нашем сокращенном изложении истории цветоведения, если бы мы имели в виду перечислить только успехи науки, так как его система является шагом назад в сравнении с тем, что было достигнуто до него *Ламбертом* и *Рунге.* Но особое положение изобретателя и та поддержка, которая была ему оказана Парижской Академией Наук, привлекли всеобщее внимание к его системе, так что ее нельзя исключить из нашего исторического очерка. Почти все опыты практического расположения цветов того времени были основаны на системе *Шеврёля* и, конечно, не имели успеха, благодаря ее недостаткам.

Эти недостатки заключаются в том, что в системе Шеврёля точно также, как в самой первой, исходящей от *Майера,* системе цветов, одинаковые смеси (смеси с черным) повторяются дважды, так что первое условие всякого расположения (систематизации) цветов, что каждому цвету принадлежит лишь *одно* место и каждому месту принадлежит один лишь цвет при этом нарушается, в то время, как у *Ламберта* и *Рунге* оно соблюдено. Этим и об'ясняется, что его система цветов в крашении шерсти применялась лишь частично даже в том предприятии, где он был директором химической части, а именно в государственной парижской фабрике гобеленов. Полное применение расположения цветов по *Шеврёлю* никогда не удавалось, что и служит доказательством ее практической непригодности.

Достижения и промахи. Основная идея расположения цветов, идущая от *Т. Майера,* это—тройственный характер совокупности всех цветов, следствием чего является невозможность разместить их на поверхности, но лишь в пространстве с его тремя измерениями. Этого придерживались *Ламберт, Рунге* и *Шеврёль* и их последователи, и это составляет постоянную идею во всех систематиках цветов.

Вторая важная мысль, высказанная хотя и недостаточно доказательно, уже Майером, это—включение белого и черного, в качестве самостоятельных цветов, в число других цветов. То, что было не вполне осознано здесь *Майером* и *Ламбертом,—Рунге* представлял себе с полной ясностью. У *Шеврёля* мысль о равноправности белого и черного вновь захирела.

Общим же всем системам упорядочения мира цветов недостатком имеющимся во всех этих системах, вплоть до самых новейших, является отсутствие количественных измерений. Цветовой круг сплошь и рядом разбит произвольно и ошибочно таким образом, что цвета желтый, красный и синий образуют равноотстоящую друг от друга тройку. При таком расположении в качестве дополнительных цветов получаются пары: желтый—фиолетовый, оранжевый—синий, красный—зеленый, что неверно. Эту ошибку не искоренили не только указание *Вюнша* в начале девятнадцатого века, но и повторное указание *Гельмгольца*—во второй половине того же века—на то, что дополнительный цвет для желтого есть синий, так как только при смеси этих двух цветов мы получаем серый (желтый же и фиолетовый дают красный). Только в наше время она начинает изживаться, и то не без болезненных рецидивов. Отсутствует у Рунге также правило для правильного построения серых и хроматических цветовых рядов.

Другие стороны науки о цветах. Представленные до сих пор исторические сведения касались, главным образом, первой проблемы рационального учения о цветах, а именно: упорядоченного расположения цветов. Все то, чего можно было достичь без измерений,—*Рунге* достиг. Сам он умер очень молодым. После его работ прошло больше столетия господства по большей части ложных воззрений, пока не был сделан следующий шаг вперед от *Рунге*, благодаря открытию измерения цветов. В этом направлении нам уж ничего больше не остается ни искать, ни находить.

О развитии физической и химической стороны учения о цветах нам много говорить не приходится. Девятнадцатый век внес в науку о свете победу теории световых волн над корпускулярной теорией. Это обстоятельство не имело, однако, осязательного влияния на учение о цветах. Так же мало влиятельными на развитие этой дисциплины оказались те химические открытия новых красящих веществ, которые во 2-ой половине 19-го столетия совершались таким бурным темпом. Зато развитие физиологии имело большое оживляющее влияние на изучаемую нами дисциплину, начиная с середины девятнадцатого столетия.

Учение Гёте о цветах. Попытки Гёте создать законченное учение о цветах дали первый толчек для развития мысли в этом направлении. С полным правом он выступил против господствовавшего в то время взгляда, поддерживавшегося физическими открытиями *Ньютона*, и утверждавшего, что наука о цветах относится к физике. Гёте с особой яркостью отметил влияние химии, а в особенности физиологии на данную дисциплину. Он настойчиво подчеркивал роль глаза и всего зрительного аппарата в возникновении у нас впечатления цвета, и в этом заключается его незабываемая заслуга.

Но значение нового было сильно переоценено при сопоставлении его со старым,—что нередко случается в ходе научного развития. *Гёте* занялся не только разработкой новой физиолого-психологической отрасли, где он сделал много выдающегося, но в замену физического учения о цветах, считавшегося им неприемлемым, он задумал новую систему, в основу которой положил тусклые цвета, как первичный феномен. И здесь он потерпел крушение, так как ему недоставало тех знаний и той специальной одаренности, которые необходимы для подобной работы. Он сам неоднократно признавался, что у него отсутствует желание и способность исследовать природу аналитически-математическим путем. Он был об'ят какой-то особой неприязнью к такого рода работам, и об этой неприязни говорил открыто. Его высокая зрительная одаренность, которая дала ему возможность найти ценнейшие обобщения в морфологии растений и животных, оказалась недостаточной для решения тонких задач науки о цветах. Это оказалось доступным только последующим поколениям, благодаря успехам физиологии и психологии (стоит вспомнить здесь, хотя бы, открытие закона Вебера-Фехнера). *Гёте* широко популяризировал неправильную теорию о трех первичных цветах (Urfarben)—желтом, красном и синем, от смешения которых сперва получаются три цвета второго ряда: оранжевый, фиолетовый и зеленый, а в дальнейшем уже все остальные смешанные цвета. Это воззрение крепко засело в умах как специалистов, так и обывателей. Основное значение дополнительных цветов—он называл их вызванными цветами (geforderte Farben)—и их самопроизвольное проявление в последовательных образах и контрастах он обстоятельно разработал. В этой области находятся ценнейшие результаты его исследований; они могли и должны были быть учтены просто как наблюденные факты.

Зато учение о гармонии цветов,—конечная цель, ради которой он взял на себя всю эту работу,—оказалось неудовлетворительным, и опять-таки благодаря отсутствию анализа. *Гёте* принимал, как само собой ра-

зумеющееся,—что гармония вполне определяется цветовыми *тонами*. Его заключительная глава: «О чувственно-нравственном влиянии цветов»—содержит, согласно этому, только указания на соотношения цветовых тонов с точки зрения художественной. Он даже не ставил себе вопроса: достаточно ли определенности одного только тона цвета, чтобы вполне обусловить гармонию. Он вообще не занимался тусклыми цветами, т.-е. теми цветами, в которые входят белый и черный компоненты, наряду с цветовыми: он считал их с точки зрения красоты малоценными, а поэтому оставлял без внимания. Практика же художников всех времен показала, что и эти основные составные элементы цвета имеют важное значение для цветовой гармонии. Цвета: красный и морской зеленый—безусловно дополнительные по отношению друг к другу, и должны были бы во всех случаях давать гармонические соединения, если бы вышеизложенная слишком примитивная теория Гёте была правильной. Но каждый художник знает, что большинство соединений этих двух цветов некрасиво, и лишь отдельные пары их создают действительную гармонию. Только нашей эпохе удалось вскрыть условия, при которых получается гармония цветов и найти руководящую точку зрения в этом вопросе. Гёте сам видел недостатки своей работы и надеялся, что будущее внесет свои поправки.

Шопенгауэр. Важный шаг вперед сделал Шопенгауэр. Гёте сам посвятил его в свою теорию, чтобы в его лице обеспечить себе молодого и способного продолжателя своих идей в этой области. Шопенгауэр сделал именно тот шаг, которого недоставало: вместо физиологической точки зрения Гёте, он подошел к учению о цветах с психологической стороны, отмечая в то же время и ту громадную роль, которую играет деятельность нашего мозга в восприятии цвета. Однако, сам Шопенгауэр недооценивал значения своей заслуги. Несмотря на его собственные указания на психологическую сторону восприятий цвета,—указания основательно разработанные в первой главе его сочинения,—он всюду называет свое учение физиологическим, и соответствующую функцию переносит исключительно на сетчатую оболочку глаза,—не обращая должного внимания на тесную связь сетчатки с функциями нашего головного мозга.

Сетчатой оболочке, по Шопенгауэру, свойственны три рода деятельности: интенсивная (ощущение белого, серого и черного цветов), экстенсивная (восприятие форм) и качественная (восприятие цветов). Последовательные образы он об'ясняет тем, что при рассматривании первого цвета только часть деятельности сетчатки приходит в действие, остальная же часть проявляет себя самодеятельно в последовательном образе дополнительного цвета. Этому разделению *Шопенгауэр* пытается дать следующие численные выражения:

Красный	относится к зеленому. . . .	как 1 : 1
Оранжевый	« » синему.	» 2 : 1
Желтый	» » фиолетовому .	» 3 : 1

(Как видно из только что приведенного и он делает обычную ошибку в определении дополнительных цветов). Идею о числовых соотношениях между цветами он заимствовал у ранее умершего исследователя, *Фогта* (Voigt), предшественников коего он не указывает.

Развивая эту мысль, Шопенгауэр об'ясняет прежде всего «теневой» природой цветов то, что каждая окрашенная поверхность выглядит темнее, чем белая. В чем сущность отличия первого рода деятельности сетчатки—интенсивной—дающей только ощущение серого цвета от деятельности третьего рода—качественной обусловливающей ощущение хроматических цветов—он не сумел показать; он ограничивается в данном случае сравнениями. Зато очень важным является унаследованное им от

Гёте указание—которому и сам Гёте придавал большое значение—на то, что каждая пара дополнительных цветов обладает *полярными* свойствами (теплый—холодный; светлый—темный). Примеси белого и черного цвета к большинству цветов Шопенгауэр об'ясняет тем, что качественная деятельность бывает иногда неполной и остаток может находиться в состоянии полного действия (белый цвет) или покоя (черный цвет). Оба дополнительные цвета дают полную деятельность, т.-е. белый цвет, что и соответствует фактически наблюдаемому. В этом пункте он приходит к полному разногласию с *Гёте*. Гёте отрицал взгляд Ньютона, что белый цвет образуется из дополнительных цветов; поэтому он не согласился и с теорией *Шопенгауэра*.

Вполне правильно незаслуженно игнорируемое указание Шопенгауэра на то, что об'яснение цвета предметов тем, что они являются как бы однородными источниками света, находится в вопиющем противоречии с действительностью. Каждому известно, что желтый цвет—самый яркий; по своей светлоте он приближается к белому; измерение дает 0,9 светлоты белого. В спектре же желтый цвет занимает не больше, как двадцатую часть всего спектра. Поверхность, которая отражает одну двадцатую часть падающего на нее света, мы называем черной. Хорошие типографские чернила (тушь) обладают примерно таким отражением. Ни в какой степени не может быть и речи о том, чтоб желтый цвет различных поверхностей обусловливался отраженным ими только желтым светом.

Учение *Шопенгауэра* имело следствием только то, что Гёте отказался от него. Непосредственного влияния на науку оно не оказало. Только два поколения спустя, *Эвальд Геринг* повторил его физиологическую часть, использовав ее для своей теории. Целое столетие прошло с тех пор, как научно-приемлемая часть его теории — о качественном различии деятельности сетчатой оболочки — была включена в современную науку нашим учением о «цветовом полукруге» (см. ниже). Причина прежде всего в том, что Шопенгауэр оставил без дальнейшей разработки свой юношеский труд. Непосредственно после него он принялся за работу над своим главным произведением, и потерял всякий интерес к науке о цветах. Вот почему долгое время никто больше не занимался этим покинутым детищем. И те идеи, которые выплыли впоследствии и которые в основном совпадают с его теорией, нельзя приписывать влиянию Шопенгауэра, так как они все равно появились бы, если бы Шопенгауэр об этом ничего не думал и не писал.

Гельмгольц. Намеченный *Гете* и *Шопенгауэром* переход науки о цветах из-под опеки физиков в руки физиологов находит свое осуществление в лице *Гельмгольца*, который, обладая по преимуществу дарованиями физико-математического характера, в силу внешних причин, перешел к изучению медицины, в связи с этим,—физиологии. Он избрал предметом своего исследования физиологию органов чувств; его основные познания оказали ему здесь ценнейшую услугу.

Здесь не место подробно распространяться о многочисленных и важных успехах, которыми наука обязана Гельмгольцу. Указать же на это мы должны здесь все же потому, что изучение цветов занимало небольшое место в его общей работе, и наши ссылки на него в связи с вопросами учения о цветах будут нередко носить отрицательный характер. Область зрительных восприятий у Гельмгольца была относительно слабо развита, и здесь он не чувствовал той потребности в исчерпывающем уяснении предмета, какая имелась у него в области абстрактно-математического мышления.

Мы видим поэтому, что наука о цветах физиологом *Гельмгольцем* опять-таки была отнесена в область физики больше, чем то следовало бы.

Гельмгольц, как и все физиологи и психологи настоящего времени, исходит из того положения, что однородные лучи или лучи с колебаниями одинаковой длины волны—суть действительные элементы всякого цветного зрения, а тем самым и науки о цветах. Для физика это вне сомнения. Биолог же должен поставить вопрос: влияли ли однородные источники света на превращение глаза из пигментного пятна кожного покрова в тонко устроенный, снабженный хрусталиком, глаз человека, и в чем заключалось это влияние. И он вынужден дать следующий ответ: нигде в природе глаз не имеет возможности воспринимать однородный свет; таковой имеется только в физических приборах. В природе имеются цвета, всегда обусловливаемые рядом смежных длин волн довольно различного числа колебаний. Так, спектроскоп заставляет нас признать между прочим, что чистейшая желтая поверхность и прозрачные желтые слои при анализе спектра таковых обнаруживают не только желтый свет, но и все более длинные волны спектра, вплоть до Фраунгоферовой линии F, а именно: красный, оранжевый, желтый, а также лиственный зеленый и часть морского зеленого. В этом—причина такой яркости желтого цвета. Вот почему наш глаз, который вначале только различал светлое и темное (как то показывает и ныне атавистический глаз лиц, страдающих полной цветовой слепотой), сумел дойти лишь до распознавания целых групп световых волн, но отнюдь не приспособлен к оперированию с однородными источниками света. Все научные работы, проведенные с однородными световыми источниками, требуют поэтому переработки с новой физиологической точки зрения.

На все только что изложенное необходимо было указать для того, чтобы раз навсегда обеспечить правильный взгляд на исследование *Гельмгольца*. Физическая часть его работ мастерски изложена и безупречна; психо-физиологическая же, наоборот, требует во многом переработки.

Результаты исследования цветов *Гельмгольц* излагает во втором томе своего труда по физиологической оптике [1]). Он приводит сначала точное описание спектра, т.-е. устанавливает зависимость между длиной волн и цветовыми ощущениями, откуда становится ясным, что связь эта не однозначна. Тон цвета значительно изменяется к обоим концам спектра в зависимости от силы света. Затем Гельмгольц переходит к смешанным световым волнам и указывает на тот факт, что можно получить одинаковые смеси из различных источников света, и что при этом наш глаз совершенно не способен различать составные элементы, в то время как ухо обладает этой способностью и различает источники звуков при их смешении. Глаз не различает в белом цвете составляющих его отдельных однородных световых лучей, как отдельных цветов.

Очень важным является указание *Гельмгольца* на то, что смеси разных световых лучей следуют совсем другим законам, чем смеси различных красящих веществ. Прочно укрепились в науке, введенные им здесь, понятия слагательного (аддитивного) и вычитательного (субтрактивного) смешения цветов.

Большое значение имеет также установление им правильных пар дополнительных цветов:

красный—морская зелень (голубовато-зеленый),
оранжевый—ледяной синий,
желтый—ультрамарин-синий,
лиственно-зеленый—фиолетовый.

---

[1]) H. v. Helmholtz. Handbuch der physiologischen Optik. 3. Bände 3. Auflage.

Вопрос о дополнительных цветах полстолетием раньше был, правда, разработан *Вюншем*, но об этом совершенно забыли. Даже новое указание *Гельмгольца* не было в состоянии уничтожить по сие время ошибочный взгляд на пары цветов, встречающийся еще у живописцев, красильщиков и печатников. Зависимость между длиной волн и дополнительными цветами Гельмгольц выразил числовым соотношением гиперболы. Всевозможные парные смеси он представил в виде таблицы.

Определив черный, серый и белый цвета как результаты отражения света (нулевое, частичное и полное), *Гельмгольц* взялся за решение проблемы систематизации цветов. Он пришел здесь к следующему выводу: «впечатление цвета, которое вызывается определенным количеством x любого смешанного света, может быть вызвано также смесью определенного количества белого света a с определенным количеством b какого-нибудь насыщенного цвета (спектрального или пурпурного) определенного цветового тона».

Это положение долгое время служило задерживающим фактором для развития науки о цветах. Из него заключали,—что делал и сам *Гельмгольц*,— что *цветовой тон, чистота и светлота* суть три элемента всякого цвета. Напрасно старались в течение полстолетия создать из этих трех элементов цветовое тело или дать правильно построенную систему всех возможных цветов.

Раньше всего нужно было устранить в вышеприведенном утверждении то молчаливое предположение, что «определенное количество x любого смешанного света» вызывает вполне определенное цветовое впечатление.

Геринг, посредством своего, ставшего знаменитым, опыта, доказал, что одно и то же количество света, в зависимости от среды, которая его окружает, может казаться белым, серым и черным; желтый цвет может переходить в коричневый и т. д. Поэтому совершенно неправильно утверждать, что цвет определяется только качеством светового источника и количеством этого света.

Далее, из спектрального цвета и белого никоим образом не удается получить коричневый, зелено-оливковый и серо-синий цвета — короче говоря, какой-либо тусклый цвет. Совершенно невозможно поэтому этим путем и систематизировать все цвета, так как в получаемых смесях будет недоставать черного цвета.

Решение этого противоречия состоит в уяснении разницы между *соотнесенными* (bezogenen) *и несоотнесенными* (unbezogenen) *цветами*. Первые содержат черный цвет, вторые его не содержат. *Гельмгольц* имел дело в своих аппаратах только с несоотнесенными цветами; к ним его закон и приложим. Но его учение отнюдь не охватывает встречающихся в окружающей нас природе цветов, которые суть цвета соотнесенные.

Этот недостаток чувствуется и в его дальнейшем изложении, где он описывает цветовой круг двух измерений с белым цветом в центре,— как содержащий все цвета «равной светлоты» («gleich lichtstarken»). Он при этом говорит: «учитывать в модели различные степени силы света, цветов тел можно лишь с помощью третьего измерения пространства, как то делал *Ламберт*. Это достигается соединением в одной вершине наиболее темных цветов, где число различных тонов становится все меньшим. Таким путем и конструируется цветовая пирамида или цветовой шар».

Это есть несомненный шаг назад, сравнительно с уже достигнутым, так как в основе лежит неправильное отрицание психологической самостоятельности черного цвета. Последствия этой ошибки сказались в том, что все опыты серьезнейших исследователей над созданием цветового

тела, согласно правилам *Гельмгольца* оказывались неудачными. Я лично, в начале моих работ, был того мнения, что все дело здесь сводится лишь к воплощению в действительность имеющихся, готовых уже, понятий. Только те непреодолимые трудности, на которые я при этом натолкнулся, указали мне, что работу следует начать с более ранней стадии, и что необходимо исследовать и уточнить самые определения элементов.

Всей совокупности своих знаний о цветах *Гельмгольц* дал сжатое изложение, в виде теории, известной по имени ее первого автора *Юнга*, опубликовавшего свою работу в 1807 году, но не сумевшего привлечь к себе каких-либо сотрудников. По этой теории в сетчатой оболочке глаза находятся троякого рода нервные элементы, передающие, по отдельности, ощущения красного, зеленого и фиолетового. Каждый из этих трех элементов воспринимает, однако, не только один однородный свет, но получает свойственные ему ощущения от широкой области световых лучей. Для элементов первого рода раздражителями являются длинные, второго—средние, для третьего—короткие световые волны.

Теория цветового зрения *Юнга* и *Гельмгольца* господствовала в науке в течение двух поколений. Гораздо больше труда было истрачено на то, чтобы сделать приемлемой, оправдать или отвергнуть эту теорию, чем на непосредственное расширение наших знаний по цветоведению. В конечном итоге следует сказать, что найти полное согласие между теорией и опытными данными не удалось, хотя многие явления и хорошо об'ясняются данной теорией. Чтобы как-нибудь согласовать теорию со всеми фактами, приходилось ее все более усложнять. Не часто приводила она и к новым открытиям. В учении о цветах, принадлежащих предметам внешнего мира, т.-е. *о цветах тел,* она не способствовала прогрессу и— что особенно важно—не указала путей для измерения и установления числовых определений в области цветов. Зато она привела к хорошим результатам в учении о ненормальностях цветового зрения—так называемой, цветовой слепоте.

Грассманн. В одном из первых своих печатных трудов Гельмгольц ошибочно указал на то, что из всех спектральных пар дополнительных цветов только синий и желтый в смеси дают белый цвет. Это побудило выдающегося математика *Грассманна,* вообще не занимавшегося наукой о цветах, заняться пересмотром ее основных положений и, исходя из них, доказать необходимость вывода, что и другие дополнительные цвета при смешении дают белый. Вскоре *Гельмгольц* подтвердил правильность этого вывода.

Относящиеся сюда основные положения *Грассманна* гласят следующее:

1) Существуют только три момента (элемента), определяющих впечатление цвета.

2) Если у двух смешиваемых цветов один непрерывно меняется, другой же остается постоянным, то и впечатление от этой смеси непрерывно меняется.

3) Два цвета, имеющие определенный, постоянный цветовой тон, определенную, постоянную интенсивность цвета, и определенную постоянную интенсивность примешанного белого цвета, дают при смешении определенный смешанный цвет, независимо от того, из каких однородных цветов они сами состоят.

Эти три правила фактически исчерпывают учение об аддитивных (слагательных) смесях. Для субтрактивных же (вычитательных) первые два оказываются приемлемыми, а третье неприемлемо. В то время как одинаково выглядящие цвета аддитивно всегда дают одинаково же вы-

глядящие смеси, субтрактивные смеси одинаково выглядящих цветов могут выглядеть очень различно.

Максвэлл. Также как и Грассманн, *Максвэлл* создал себе научное имя в совсем другой отрасли знания, и совершил только случайную экскурсию в область науки о цветах. Вопрос, который был поставлен Максвэллом и на который он дал ответ, был следующий: соответствует ли действительности правило относительно смесей, данное Ньютоном. По этому правилу количества составных частей какого-либо смешанного из двух цветов цвета, помещенного в круге на линии их соединяющей, относятся друг другу обратно пропорционально расстояниям между точкой результирующей смеси и конечными точками, соответствующими цветам их составляющим. *Максвэлл* доказал, что это положение есть лишь частный случай, что все количественные цветовые уравнения *линейны* или суть уравнения первой степени,— и поставил себе задачей проверить правильность этого вывода.

Для этого ему нужен был какой-нибудь способ *измерения* цветов. Он воспользовался удачным опытом *Плато,* с вращающимся диском. Известно, что быстро сменяющиеся цвета, нанесенные на волчок или на вращающийся диск, дают впечатление одноцветной смеси. С полным правом можно принять величину углов цветных секторов за меру количеств соответствующих цветов. Таким путем различные цветовые количества не измеряются, правда, одной общей единицей, поскольку каждая из этих угловых величин содержит в себе,— в качестве второго неизвестного, но для данной цветной бумаги, вполне определенного фактора,— характер ее цвета. Однако, и с этими относительными данными можно проверить указанное выше правило.

Для этого Максвэлл сделал следующее: он поместил на одной и той же оси большие и малые передвижные диски. Большие круги содержали, положим, цвета: киноварь (Z), ультрамарин синий (U), швейнфуртскую зелень (G). Маленькие состояли из белого (W) и черного (S). Можно было составить большие круги так, чтобы смесь их выглядела чисто серой, и из внутренних маленьких составить такой же серый цвет. Такие круги легко сравнивать, так как они тесно примыкают друг к другу.

Выражая величину углов в сотых долях полного круга, мы получаем следующее уравнение:

$$37\,Z+27\,U+36\,G=28\,W+72\,S.$$

Если добавить к данным еще другие цветные диски, то можно получить при их помощи уравнений больше, чем неизвестных (в данном случае цветов), и определить, согласуются ли они друг с другом. Максвэлл нашел, что это вполне соответствует действительности и, таким образом, общее правило можно считать доказанным. Он доказал также, что на этом основании можно найти определенное число для всякого цвета, если за единицу принять произвольно выбранные три цвета. Это есть практическое применение тех рассуждений, которые мы изложили выше, говоря о получении всех цветовых тонов из смешения трех цветов.

Был поставлен вопрос и о том, нельзя ли развить эти относительные способы измерения цветов в абсолютные. Ответ на этот вопрос тогда еще не был найден. Метод абсолютного измерения цветов открыт только в наше время.

Вторая работа Максвэлла распространяет найденные при опытах с цветной бумагой общие соотношения также и на однородные источники света. При этом Максвэлл нашел, что индивидуальные различия в восприятии цветов различной цветной бумаги бывают гораздо меньше, чем

при восприятии однородных световых волн. Это весьма плодотворное наблюдение он глубже, однако, не развил.

Э. Геринг. Работа Гельмгольца послужила толчком к дальнейшим исследованиям в области изучения цветов. Это относится, главным образом, к вопросу о правильности и применимости трехцветной теории зрения. Исследования основывались на том предположении, что однородные лучи света суть не только физические, но и психофизические элементы цветов. Но уже тот основной факт, что можно получить одинаково выглядящие цвета из различных световых лучей (как, например, из каждой пары дополнительных цветов можно получить один и тот же белый цвет) доказывает, что те и другие элементы не одинаковы, ибо иначе не могло бы быть равенства с одной стороны при различии с другой. Этот факт лучше всего показывает, что разнообразие цветовых ощущений гораздо более ограничено, чем разнообразие световых лучей, и поэтому для цветовых ощущений нужно было бы искать совсем другие элементы, которые и при различном составе в отношении длины волн могли бы быть равными.

Тут необходимо, в первую очередь, возвратиться от физического анализа к психофизическому. Этим важным шагом мы и обязаны физиологу *Эвальду Герингу*. Его задачей было изучение цветов не спектра, а тех цветов, которые глаз воспринимает в ежедневном обиходе. Он расположил их не по длине волн, а только по непосредственным ощущениям сходства и противоположности. Таким образом, он пришел к заключению, что существуют *четыре* первичных цвета, а именно: желтый, красный, синий и зеленый. Эти цвета попарно являются противоположными и поэтому он располагает их крестообразно:

желтый
зеленый красный
синий.

Между этими четырьмя главными точками цветового круга, расположенными по отношению друг к другу под прямым углом, можно поместить непрерывными переходами все остальные цвета. Кроме этих двух пар хроматических цветов, есть еще одна пара, а именно, белый и черный цвета, которые так же полярны друг к другу, как и хроматические дополнительные цвета. Итак, существуют три пары основных или первичных (Urfarben) цветов, носящих противоположный характер.

До сих пор все обосновано чисто матетически и свободно от гипотез. *Геринг* добавил к этому одну физиологическую предпосылку,— указав, правда, на ее гипотетичность,— что каждая пара ощущений соответствует увеличению или уменьшению особого вещества в сетчатой оболочке глаза. Ассимиляция и диссимиляция этих веществ является, таким образом, вещественной «соматической» предпосылкой цветовых ощущений.

Как и теперь нередко случается, значение главного шага вперед— в данном случае правильного расположения цветов—было отодвинуто на второй план гипотезой, и все дальнейшие научные построения базировались чаще на ней, чем на более существенном—порядке расположения цветов. *Геринг* показал, каким образом посредством прибавления белого и черного к любому чистому цвету можно получить все его производные, какие только могут быть восприняты нашим глазом. Этим производным можно дать ясное графическое изображение в виде треугольников, по углам которых будут находиться белый, черный и чистый цвета. Если мы составим такие треугольники для каждого чистого цвета, то получим все цвета, какие только могут нами ощущаться.

Другим важным шагом вперед мы также обязаны *Герингу*: он показал психофизическую обусловленность цвета. Следующий, введенный им опыт лучше всего это нам поясняет. На стол, поставленный у окна, кладут белый лист бумаги; над этой бумагой держат картон, у которого верхняя сторона—белая, а нижняя—черная, и который имеет отверстие -х сантиметров в диаметре. Если мы будем держать картон параллельно бумаге, то отверстие будет казаться тоже белым. Затем мы медленно поворачиваем картон к окну вокруг горизонтальной оси таким образом, что поверхность картона постепенно освещается все ярче. Отверстие при этом становится серым, затем темнеет, и при известном положении может стать почти черным. При этом количество и качество света, которое от бумаги через отверстие попадает к нам в глаз, остается неизменным, но оно производит впечатление белого, серого и черного в зависимости от положения верхнего картона.

Понятно, что это явление обусловливается нашим восприятием освещения. Цвет отверстия в белом картоне мы воспринимаем совершенно бессознательно, так, как будто он принадлежит поверхности, находящейся в одной плоскости с нашим картоном. При параллельном положении бумаги и картона, от отверстия исходит столько же света, сколько от верхней белой поверхности картона, и поэтому отверстие нам кажется белым. При поворачивании картона, когда он начинает отражать света больше, чем попадает его к нам в глаз через отверстие, там должна бы иметься уже серая поверхность, чтобы вызвать этот эффект в плоскости нашего картона. Чем больше разница здесь между двумя количествами отражаемого света, тем темнее должно быть отверстие, чтобы вызывать эту разницу. При соотношении количества света от верхней поверхности картона, выражающемся как 1 : 10, отверстие кажется черным.

То же самое явление, конечно, можно наблюдать и тогда, когда верхний картон с отверстием остается неподвижным, а поворачивается только нижняя бумага. Для ощущения совершенно равноценно, меняют ли количество света окружающего (количество же света, исходящее из отверстия, остается постоянным), или, наоборот, меняют количество света, исходящего из отверстия, а количество окружающего света остается постоянным: мы всегда при этом имеем дело с *отношением* двух количеств света.

Если поставить над отверстием трубку того же диаметра, изнутри окрашенную в черный цвет, то все эти изменения исчезнут. Можно тогда как угодно поворачивать и верхний картон и нижнюю бумагу—в трубке мы увидим только белый цвет, который будет казаться то более светлым, то более темным, но никогда не будет казаться серым.

Таковы опыты *Геринга*. При об'яснении описанных явлений он окончательно исключил участие психики в какой бы то ни было мере, и пытался истолковать их как физиологическое взаимодействие смежных частей сетчатки, зависящее от различных условий. Так как об'ективно об этих физиологических явлениях мы еще ничего не знаем, то этот путь об'яснения нам не даст много нового, почему и надлежит вернуться лучше к соответствующим цветовым ощущениям. Отсюда вытекает учение о соотнесенных и несоотнесенных цветах. В свое время оно было предложено *Герингу*, но он о нем и слушать не хотел, в силу вышеуказанной своей тенденции.

Палочки и колбочки. Анатомы уже давно заметили в сетчатой оболочке человеческого глаза два сорта концевых аппаратов, которые, по их предложению, были названы палочками и колбочками. Мысль о том, что анатомические различия должны обусловливать собою и различия функциональные, была высказана *М. Шульце* в 1866 г. Исследования глаз различных животных, а также исследование размещения палочек и колбочек в человеческом глазе (колбочки в центральной ямке, палочки

в более боковых частях), привели его к заключению, что палочки различают только светлое и темное, колбочки же воспринимают хроматические (цветные) цвета.

Этой дальновидной мысли уделили первоначально так мало внимания, что даже сам *Гельмгольц*, который очень внимательно прорабатывал литературу по учению о цветах, не использовал этого взгляда в своих произведениях. Впоследствии это же учение было выдвинуто *Крисом* и *Парино*, и удачно защищалось ими от всяких возражений. В недавно изданном обзоре, *Г. Мюллер* приходит к выводу, что теория эта, при дополнении ее некоторыми дополнительными гипотезами, вполне отвечает наблюдаемым фактам.

По этой теории палочки являются первоначальным органом зрения, приспособленным для восприятия лучистой энергии. Разнородность последней воспринималась сначала интенсивно, как светлое и темное, а затем, при помощи хрусталика—экстенсивно в пространстве двух измерений; что же касается различий по длине волн, то они вовсе не воспринимались. Из палочек впоследствии развились колбочки, которые, очевидно, постепенно приспособлялись к восприятию цвета. Раньше всего развилась способность воспринимать более резкие отличия—между желтым и синим (теплым и холодным) цветами, а затем уже и более слабые—между красным и зеленым. Это предположение находит себе подтверждение в статистических данных, касающихся лиц с аномалиями цветоощущения. Лица, подверженные полной цветовой слепоте,—у которых функционируют только палочки,—чрезвычайно редки; чаще встечаются люди с недоразвитым ощущением желтого и синего цветов, еще чаще—такие, которые не различают красного и зеленого. Это и соответствует общему правилу, по которому исторически позднее приобретенные свойства сравнительно легче теряются.

Палочки более чувствительны к свету, чем колбочки, и то, что в них происходит, лучше известно. В живом глазу они содержат в себе вещество, которое меняется под влиянием света—зрительный пурпур—(Болль, Кюне); с количеством наличного зрительного пурпура связана «адаптация» глаза, т.-е. его приноровленность к данному освещению.

Заключение. Развитие науки о цветах, с общими чертами которого мы выше познакомились, можно сравнить с развитием химии во второй половине восемнадцатого века. Было открыто большое количество разнообразнейших фактов, требовавших систематизации. Основы такой систематизации довольно правильно выработаны *Майером, Ламбертом, Рунге, Грассманном, Максвэллом* и *Герингом*,— так что уже можно было серьезно предполагать, что мир цветов уложится в одну из этих систем. Но стоило только подойти к реальному осуществлению этой идеи, чтоб натолкнуться на неопреодолимое препятствие, а именно: отсутствие меры и числа. Было совершенно невозможно установить числовые градации для такой системы, а посему всякая попытка построения такой системы оказывалась произвольной и не приводила к конечной цели.

Всякий дальнейший успех оказался всецело зависящим от введения в мир цветов меры и числа. Некоторые шаги в этом направлении были уже сделаны. Вращающийся цветовой диск вполне применим для слагательного (аддитивного) смешения измеримых количеств данных цветов. Были даже попытки вывести более общие заключения из таких измерений. Но все эти измерения содержат неизвестные величины, и их нельзя привести к общей единице измерения.

Тут-то и выступает учение о цветах, изложению которого и посвящен настоящий труд. Исходной точкой его является выяснение действительных элементов цветов; затем оно переходит к открытию спо-

собов, с помощью которых можно было бы измерить эти элементы, и однозначно их определить, не допуская в этом никакого произвола. Уже за несколько лет, прошедших с тех пор, как был сделан этот шаг,— достигнуты ощутительные разультаты, даже при небольшом количестве лиц, начавших работать в этой области. Но несравненно большее предстоит еще каждому, кто возьмется за это дело. Будущий историк науки о цветах сумеет констатировать резкий под'ем в развитии этой отрасли знания в двадцатых годах двадцатого века, подобно тому, как историк химии мог бы сказать то же самое о конце восемнадцатого века. Тому и другому будет легко об'яснить это явление: дело идет о переходе науки из *качественной* эпохи в *количественную*.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

Свет.

Общее. Для того, чтобы глаз видел цвета, он должен получить соответствующее *раздражение*. Все наши органы чувств приходят в активное состояние только при воздействии на них какой-нибудь внешней энергии. Для слуха необходимы колебания воздуха, для обоняния и вкуса—химические раздражения; органы кожи возбуждаются механическим давлением и теплотой, глаз же—*светом*.

Мы должны поэтому вспомнить о свойствах света или лучистой энергии. Правда, каждый школьник знаком теперь с основными законами учения о свете, или оптики; мы не имеем в виду предложить здесь сокращенный учебник этой отрасли знания. Тем не менее, будет очень полезно напомнить некоторые места из отдела оптики, важные для учения о цветах, и изложить знакомый нам соответствующий материал в той форме, в которой он окажется наиболее полезным для нашей настоящей цели.

Свет. Нормальное раздражение, к которому приспособлен наш глаз, есть свет или лучистая энергия. Мы ее знаем как особого рода энергию, не связанную ни с каким весовым носителем. Гипотетически принятый, вследствие этого, световой эфир в наше время оказывается излишним и неприемлемым.

Основное свойство света—его *периодичность*. В тех границах, где наш глаз способен воспринимать свет, его колебания достигают громадных величин, 400 до 750×10^{12} раз в секунду. Есть еще большие области более быстрых и более медленных колебаний, но они не вызывают зрительных ощущений, а потому и не будут нас здесь занимать. Световые колебания по новейшим, хорошо обоснованным воззрениям, суть колебания электрической и магнитной энергии, регулярно переходящих друг в друга.

Свет распространяется в пространстве с большой скоростью. В пустом пространстве он достигает наибольшей скорости, а именно 3.10^{10} сант. в секунду; в средах же, заполненных весомым веществом, его скорость уменьшается, и—в первом приближении,—по мере возрастания плотности среды. При этом наблюдаются также, однако, и значительные влияния химического порядка. Тут мы имеем дело с неким элементарным свойством аддитивности (слагательности): степень замедления колебаний в элементах переносится без больших изменений и в их соединения. Наряду с этим наблюдаются и влияния конститутивного характера, которые особенно велики там, где число колебаний света совпадает с периодическими процессами в данном веществе. Тогда наступает сильное

поглощение света и соответствующее изменение скорости его распространения.

Свойства световых лучей. Путь однородной световой волны определяется числом и плоскостью колебаний. Из этих двух свойств глаз воспринимает только первое—разному числу колебаний соответствуют различные *цветовые тона* (красный, оранжевый, желтый и т. д.). В дальнейшем нам придется специально остановиться на этой зависимости.

Плоскость колебаний нами не воспринимается. Биологическое об'яснение данного явления следующее: в природе очень редко встречается поляризованный свет одной плоскости колебаний, кроме того, такой свет не бывает обычно связан с чем-нибудь биологически важным. В природе нет, поэтому, факторов для развития в нашем глазу органа, приспособленного к восприятию плоскости колебаний, хотя выработать для этого воспринимающий аппарат живым существом и было бы совсем не трудно. Приведенные рассуждения помогают нам разобраться в психофизических фактах. В дальнейшем мы также будем по мере надобности пользоваться ими.

Отражение, преломление, поглощение. Если луч света или световой поток внезапно попадет из безвоздушного пространства в заполненную среду, то его скорость должна резко измениться. С этим связан целый ряд важных явлений, упоминание о которых в этой книге, ради специальных интересов всего нашего изложения, не лишне, хотя они и известны всем из физики. Явления эти: отражение, преломление и поглощение света.

Часть света отбрасывается телом назад, или отражается, при чем число колебаний не претерпевает изменений; на плоскости же колебаний это отражается таким образом, что волны располагаются более симметрично по отношению к граничной поверхности. Отражение захватывает собой тем большую часть падающего света, чем больше разница между скоростями света в обеих средах. Отражение усиливается также вместе с увеличением угла падения, и при вертикальном падении равняется единице, т.-е. все лучи отражаются.

От формы пограничной поверхности зависит результат отражения. Если поверхность гладкая, то параллельно падающие лучи также параллельно и отразятся под углом, равным углу падения. Направление падающих и отраженных лучей и перпендикуляр падения находятся в одной плоскости. Это явление называют *зеркальным отражением.*

Для зрения отражение имеет только то значение, что оно меняет направление лучей, не нарушая их расположения. Поэтому в зеркале мы и узнаем те предметы, от которых исходят лучи.

Другой крайний случай это тот, когда форма поверхности состоит из очень маленьких поверхностей всевозможных направлений. И здесь часть света тоже отражается, но, отражаясь, свет не остается упорядоченным, но рассеивается по всем направлениям. Поверхности такого рода называются матовыми.

Блеск. Большинство существующих поверхностей находится между этими границами. Вполне зеркальные и матовые поверхности суть поверхности идеальные. Если зеркальное отражение достаточно выражено, то говорят, что поверхность обладает *блеском;* блеск тем сильнее, чем больше лучей поверхность отражает. Жировой блеск, стеклянный блеск, бриллиантовый блеск, металлический блеск расположены по ступеням увеличивающего зеркального отражения. Очень часто отражение зависит от направления, как, например, у тканей, у которых разные неровности поверхности делают различные направления неравнозначными. Такого рода блеск называется шелковым блеском.

Блеск можно измерить, или дать ему численное выражение, исходя из сравнения количества света, отражаемого блестящей поверхностью, с тем его количеством, которое отражается идеальной матовой поверхностью. Блеск, как неполное отражение, зависит от угла падения и угла отражения; он усиливается с увеличением обоих углов и достигает максимума тогда, когда оба угла равны. Нормальным углом для измерения блеска может служить половина прямого угла.

Преломление. Часть падающего света, оставшаяся после отражения, вступает в другую среду, где луч меняет свою скорость, а также и свое направление, если линия падения не перпендикулярна к поверхности разделяющей эти среды. Угол определяется законом преломления *Снеллиуса*, по которому синус угла падения относится к синусу угла преломления, как скорость света в первой среде к скорости его во второй среде. Отношение этих скоростей друг к другу называется коэффициентом преломления. В данном случае также оба луча и перпендикуляр падения находятся в одной плоскости.

В среде, наполненной весомой материей, скорость света не только меньше, чем в безвоздушном пространстве, но и зависит еще от числа колебаний; замедление увеличивается с увеличением числа колебаний. Вот почему луч света, состоящий из различных длин волн, теряет, при переходе из одной среды в другую, свое единство: каждый сорт световых волн принимает в таком случае свое особое направление, соответствующее числу его колебаний. Это—наилучший и самый простой способ для отделения друг от друга различных сортов света. Открытие его принадлежит *Ньютону.*

Светорассеяние. Светорассеяние (дисперсия) всегда связано с преломлением света и, так как лучам различной частоты колебаний соответствуют различные цвета, оно служит причиной образования всем известных хроматических краев в тех случаях, когда по пути следования луча от предмета к глазу имеет место преломление.

Светорассеяние бывает различным по своей величине, в зависимости от того, насколько отношение скоростей различных длин волн в данной среде удаляется от единицы. Дисперсия света в общем увеличивается с преломлением, но помимо этого она зависит еще и от химической природы среды. Стекла, которые содержат бор и фтор, дают поразительную слабую дисперсию, содержащие же свинец и таллий—необычайно сильную. Эти особенности, для чисто практических целей, основательно изучены, и теперь мы имеем возможность изготовлять стекла любой рассеивающей силы.

Спектроскоп. Для анализа данного света посредством дисперсии употребляют *призму*, т.-е. стекло, ограниченное двумя наклонными друг к другу плоскостями. Когда мы смотрим сквозь такое стекло на источник света, то он кажется нам сдвинутым с своего места, и, в зависимости от числа колебаний, на разный угол. Всегда бывает видно через призму такое количество разноцветных изображений, сколько различных чисел колебаний имеется в данном свете. Большею частью мы имеем, в известных пределах, всевозможные числа колебаний. Изображение непрерывно переходит одно в другое, а все вместе располагаются в виде многоцветной полосы, в которой все цвета размещаются согласно числу соответствующих им колебаний.

Для того, чтобы изображения возможно меньше покрывали друг друга, источнику света дают форму полосы, помещая его перед узкой щелью—так, чтобы она была параллельна линии пересечения двух поверхностей призмы. Проще всего это достигается тем, что перед источником света помещается *щель* пропускающая лишь узкую полоску.

Изображение, которое мы получаем таким образом, называется *спектром*, а прибор, состоящий из призмы и щели,—*спектроскопом*. Для удобства наблюдения и большей его точности спектроскоп содержит еще целый ряд стеклянных чечевиц, которые в основном явлении ничего существенного не меняют. Призму лучше всего поставить таким образом, чтобы средние лучи имели прямолинейное направление—тогда легче направить спектроскоп на источник света. Наконец для многих целей очень желательно иметь в поле зрения также шкалу, на которой можно видеть числа колебаний (или длины волн). Все эти приспособления имеются у спектроскопов новейшей конструкции.

Полное отражение. Согласно закону преломления света, каждый луч может вступить под каким угодно углом из одной среды в другую, если только скорость его в этой среде уменьшается (т.-е. среда оптически более плотна); в противном случае дело обстоит иначе. Тут существует предел, когда синус угла преломления равняется единице, а сам угол следовательно становится прямым; при дальнейшем увеличении угла падения —преломление становится уже невозможным и все количество падающего света отражается. Это есть явление *полного отражения*, очень важное, между прочим, и для понимания образа действия кроющих красящих веществ.

Поглощение. Часть света, попадающая в другую среду, превращается в другие виды энергии, преимущественно в тепловую, и поэтому первоначальное количество света постепенно уменьшается. Законом этого процесса—поглощения—является то, что каждую единицу своего пути данный свет проходит не полностью, а только определенной долей своего предыдущего количества. Эта доля, т.-е. та часть света, которая проходит через новую среду, всегда выражается правильной дробью. Эта дробь очень часто приближается к единице; в таких случаях тела называются прозрачными. От силы света, коэффициент прозрачности не зависит, зато, обычно, он в большой степени зависит от числа колебаний. Немного существует веществ, которые бы одинаково сильно поглощали все видимые волны света; строго говоря, ни одно тело, ни одна смесь не поглощают все лучи совершенно одинаково.

Если коэффициент прозрачности для длины пути, равной одному сантиметру, обозначит буквой d, то при длине пути, равной n сантиметрам, он выразится, как d^n, поглощение же будет выражаться формулой: $1—d^n$. Это есть математическое выражение вышеизложенного закона; d есть функция длины волны, но не силы света.

Поглощение света в большой степени зависит от химической природы вещества. Здесь идет речь о конститутивных особенностях вещества. Элементы, валентность которых меняется при вступлении их в реакции с другими элементами, имеют во всех таких случиях разную поглощательную способность, хотя в простых соединениях она нередко одинакова или подобна. Более сложные и комплексные соединения проявляют уже иную лучепоглощаемость. Необыкновенно разнообразна поглощательная способность у ароматического ряда углеродистых соединений, если они содержат еще при этом азот и другие элементы. На этом и зиждется богатая и особенно ценная промышленность—добывание красящих веществ из продуктов коксования угля.

Поглощение зависит, далее, от состояния вещества. В то время, как в газах часто наблюдаются узкие полосы поглощения, дающие линейчатый спектр, у жидкостей и растворов таковые очень редки. У жидких тел поглощение распространяется на большие части спектра, в границах которых оно непрерывно несколько меняется. К концам этих областей коэффициент прозрачности увеличивается и приближается к единице.

Линейчатые спектры заменяются здесь спектрами, имеющими более широкие полосы поглощения с размытыми границами. Еще более равномерно и непрерывно распределяются области поглощения у твердых тел. Узкие линии поглощения очень редки, широкие, размытые полосы являются правилом. Эти факты имеют основное значение для биологического развития нашего цветного зрения, как уже и было указано нами выше. Дальше, при изложении учения о цветовом полукруге будут изложены и правила которые, сообразно с этим, определяют наше видение цветов.

Цвета предметов. Все цвета окружающих нас тел обусловливаются вышеизложенными явлениями. Прозрачные тела мы видим благодаря тем лучам света, которые, вследствие их частичного отражения с их поверхности, попадают в наш глаз. Когда разница в степени преломления (по сравнению с воздухом) мала, как, например, у различных газов, то такие тела не доступны нашему зрению. Если имеется частичное поглощение, то тела видятся нами как прозрачные цветные, как, например, цветные стекла, вода, многие драгоценные камни и т. д.

Если тело состоит из множества маленьких частиц с различными показателями преломления, то свет не может там проложить себе длинного прямого пути. Поэтому они не прозрачны. Если при этом нет заметного поглощения, то свет рассеивается и отражается; такие тела нам кажутся белыми.

Чаще всего в этом случае одной из составных частей такой смеси является воздух. При рассмотрении белых тканей под микроскопом мы видим прозрачные волокна, при рассмотрении белых порошков мы видим прозрачные кристаллики или частицы таковых; как те, так и другие заключают в промежутках между собой воздух. То же наблюдается и у всех других белых тел. Особенно характерно это для таких белых красящих веществ, как свинцовые белила, цинковые белила, мел и т. д., которые состоят из прозрачных, мелких, сильно преломляющих зернышек. Они кроют тем лучше, чем больше их преломляющая способность.

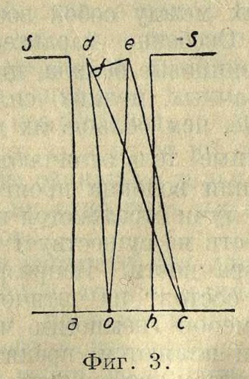
Хроматические (цветные) тела отличаются от белых только тем, что прозрачные кристаллики или волокна проявляют избирательное поглощение; непоглощенные же лучи отражаются и обусловливают цвет. Абсолютно непрозрачных веществ не существует; зато часты вещества с малым коэффициентом прозрачности. Непрозрачность большинства тел об'ясняется тем, что они состоят из оптически-различных частиц довольно значительных размеров (немногим меньше 0,001 мм.), которые дают сильное отражение и являются препятствием для прохождения света. У металлов мы наблюдаем особенности, обусловливающие их блеск; но и металлы при достаточном размельчении становятся прозрачными.

Таким образом, большинство цветов внешнего мира зависит от поглощательной способности твердых тел. Поэтому, при спектральном анализе цветов тел мы видим, что их отраженный свет, который и является причиной их окраски, состоит из широкой полосы близких друг к другу световых волн. Рядом с ними находятся темные полосы или области поглощения. У ярких цветных тел эти области занимают приблизительно половину спектра. Очень часто мы встречаем область поглощения в середине спектра, как раз в зеленом цвете. Тогда отражаются световые волны обоих концов спектра, с одной стороны красные, а с другой— фиолетовые и синие. Эту смесь цветов мы воспринимаем целостно, как однородный цвет (как это бывает и при всех других смесях), и она дает нам ряд не встречающихся в спектре розовокрасных, синекрасных и пурпурных цветов. В дальнейшем мы будем иметь возможность их изучить. Красящие вещества естественного и искусственного происхождения с поглощением в зеленой части спектра встречаются весьма часто.

Диффракция. До сих пор рассмотренные нами свойства света выявляются в таких измерениях, которые велики по сравнению с длиной отдельной световой волны и эта последняя не оказывала, поэтому, на них влияния. Но имеется еще и другая группа важных свойств, которые обусловливаются непосредственно длиною световых волн. Самое важное из них—диффракция света. Если мы пропустим солнечный свет через узкую щель в темную комнату, и в образовавшуюся узкую полосу света поместим волос или другой темный предмет, то получится не простая тень. Эта тень будет состоять из узкой средней линии, по обеим сторонам которой расположатся параллельные светлые и темные полоски, при более тщательном исследовании оказывающиеся хроматическими (цветными). В этом случае свет проходит не просто по прямой линии: его лучи, как будто «загибаясь», попадают в геометрическую область тени, отчего этот процесс и получил название «загибания» (Beugung), или диффракции света.

Если волос заменим узкой щелью, которую поставим параллельно первой щели, то увидим светлую среднюю линию. По обеим сторонам от этой линии симметрично расположатся темные и светлые полоски, которые становятся окрашенными и все более слабыми по мере удаления от средней линии.

Причина этого явления лежит в волнообразной природе света. Если две волны так проявляют себя, что понижение и понижение, или под'ем и под'ем совпадают, то они усиливают друг друга. Если же понижение одной совпадает с под'емом другой и наоборот, то эти волны уничтожают друг друга. Это явление называется интерференцией света.



Фиг. 3.

Фигура 3 дает представление о том, как образуются вышеупомянутые полоски. Согласно теории волн,—щель, заполненная светом, действует как само светящееся тело. Представим себе, что из света, падающего на щель SS, взяты точки e и d, тогда пути света по do и по ee будут иметь одинаковую длину; в точке O попадут одно на другое под'ем волны на под'ем, понижение на понижение, и количества света сложатся.

В стороне от O, например, в C, находится точка, для которой пути dc и ec отличаются друг от друга на половину длины волны. Там совпадут понижение одной и под'ем другой, под'ем одной и понижение другой, и волны, в результате этого уничтожат друг друга. Поэтому, там получится темнота.

Еще дальше за C находится место, где разница между длинами путей составит полную длину волны. Там опять наступает сложение волн, т.-е. яркий свет.

Таким образом, темные и светлые полоски чередуются друг с другом, но они ослабляются, так как количества света падающие в стороны

все уменьшаются. Совершенно то же мы наблюдаем и по другую сторону от точки О.

Эти рассуждения будут верными только в том случае, если речь идет о свете одной определенной длины волны. Если же мы имеем дело с дневным светом или, как то обычно и бывает, с какими нибудь другими неоднородными лучами, то от каждой длины волны должна получиться своя особая картина. Эти изображения не совпадут, так как чем длиннее волна, тем дальше отстоит точка С от средней точки О. Различным волнам соответствуют разные цвета; вместо чередования просто светлого и темного у нас получатся разноцветные полоски.

Диффракционный (решетчатый) спектр. Если вместо простой щели применить целый ряд тесно соприкасающихся друг с другом щелей, «решетку», то явление соответственно этому расширяется. При этом получается разложение света подобное тому, какое дает и призма, и при помощи решетки можно так же приготовлять спектроскопы, как и при помощи призм. Все-таки решетчатые спектры во многом отличаются от призматических. Во-первых, в решетчатых спектрах меньше всего отклоняются короткие волны, а длинные больше всего, в призмах же дело обстоит наоборот. Во-вторых, у решетчатого спектра цвета расположены пропорционально увеличивающейся длине волн так, что они в этом отношении построены строго закономерно. Призматические спектры, наоборот, показывают некоторое отклонение в том смысле, что одинаковым различиям волн соответствуют тем большие участки в спектре, чем волны короче. Другими словами, призматические спектры сильно растянуты в сторону синего и фиолетового, в сторону же красного они сильно сжаты по сравнению с решетчатым спектром и расположением, пропорциональным длине волн.

В-третьих, призматические спектры гораздо более светосильны, чем решетчатые спектры, потому что в призме рассеивается весь вступающий в нее свет, в то время как в диффракционной решетке отклоняется только часть света, и эта часть дает не один спектр, а много спектров, смежных друг с другом.

В зависимости от того, насколько важны вышеописанные преимущества и недостатки того и другого вида спектров, и следует выбирать для аппаратуры призмы или диффракционные решетки. Последние имеют то преимущество, что, при условии наличия достаточного света, дают возможность достичь большей степени светорассеивания, благодаря чему с помощью диффракционного (решетчатого) спектра можно провести анализ гораздо дальше идущий, чем с помощью призмы. Призмы же имеют преимущество, если иметь в виду силу света.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

Процесс зрения.

Общее. Как все наши ощущения, так и наше зрение основывается на целом ряде явлений, которые должны последовать друг за другом для того, чтобы получился какой-нибудь эффект. Прежде всего необходимо *раздражение.* Под этим названием мы подразумеваем энергию, в данном случае свет, которая во внешнем органе чувства вызывает определенные явления. Эти явления оказывают действие на разветвление особо приспособленного нервного аппарата, в котором действующая энергия вызывает процесс, по существу и теперь еще непонятный, а именно—так называемый нервный ток, который с умеренной скоростью через нерв доходит до мозга. Там возникают новые и очень сложные нервные токи, ко-

торые в конечном счете ведут к возникновению у нас ощущения, т.-е. особого процесса, обычно связанного с сознанием. Идет ли на это сложные нервные процессы первоначальная энергия раздражения, или же она действует лишь разряжающим образом и дальнейшие процессы определяются имеющимися уже в организме биологическими, т.е-. химическими энергиями,—в настоящее время остается еще не окончательно решенным. Второе продположение, однако, гораздо более вероятно.

Чувствительность и косность. Возникнув из первичной эктодермы различные органы чувств до такой степени развились, что для приведения их в действие достаточно необычайно малых количеств энергии. Другими словами, их абсолютная *чувствительность* очень велика. Эта чувствительность дает им еще одно ценное свойство, которое мы можем обозначить как их очень малую *косность*. Каждое функционирование, сопровождаясь затратой энергии, необходимо переводит орган в новое состояние, в коем на новые раздражения он реагирует уже иначе, чем после первоначального покоя. Всегда однородная зависимость между раздражением и ощущением есть, однако, крайне необходимое условие полезности органа, так как лишь при этом условии наши ощущения могут служить однозначными указателями вещей внешнего мира. Возврат в состояние покоя может произойти тем скорее, чем меньшее количество энергии и вещества участвовало в действии органа. Таким образом, большая чувствительность, благодаря которой орган реагирует на малые раздражения, в то же время обусловливает и малую косность, которая дает ему возможность быстро вернуться в нормальное состояние.

Применительно к глазу, оба эти свойства хорошо известны. Первое обусловливает *порог*, благодаря которому раздражения или изменения раздражений должны перешагнуть определенные малые, но конечные величины, чтобы быть воспринятыми.

Второе обусловливает так называемое световое *последействие*, сказывающееся в последовательных образах и т. п. Этим об'ясняется знакомое всем явление слития в сплошную световую ленту изображений движущегося раскаленного угля, также как и возникновение слагательных (аддитивных) смесей на вращающемся диске для смешения цветов.

Закон Вебера—Фехнера. Факты чувствительности и косности хорошо нам знакомы и использованы всевозможными научными и техническими приборами. При устройстве всякого измерительного или определительного аппарата, мы стремимся к тому, чтоб он обладал высокой чувствительностью и минимальной косностью (инерцией), так как только при этих условиях он наилучшим образом будет соответствовать своему назначению.

Абсолютная чувствительность имеет при этом меньшее значение, чем относительная, т.-е. рассчитанная на данную предельную величину измерения. В настоящее время изготовляют такие микровесы, которые дают возможность взвешивать 0,000001 грамма; но они не переносят нагрузки более одного грамма. Изготовляют также весы с нагрузкой до одного килограмма с точностью до 0,001 грамма. Первые весы имеют в тысячу раз большую абсолютную чувствительность, чем вторые, зато относительная чувствительность у обоих весов одинаковая и равняется одной миллионной. С точки зрения механики, те и другие весы равноценны. Они отличаются друг от друга только областью измерения. То же наблюдается и в наших воспринимающих аппаратах. Они приноровлены к своей «нагрузке», которую получают при нормальных условиях и обладают соответствующей чувствительностью. В тех случаях, когда «нагрузка» очень резко меняется, где технику понадобились бы, следовательно, все новые и новые весы, в организме человека имеются дополнительные приспособле-

ния, при помощи которых чувствительность и приноравливается к соответствующей нагрузке.

Наилучшим образом приспособлен в этом отношении глаз. Солнечный свет значительно изменяется и в течение дня и по временам года, а для первобытного человека способность видеть и ночью, при свете луны и звезд, очень часто являлась прямой жизненной необходимостью. Сообразно с этим, глаз и имеет целый ряд приспособлений для того, чтобы сделать свою чувствительность достаточной при любом свете: отсюда вытекла и общая закономерность, которой подчиняются его ощущения.

Таких приспособляющих механизмов имеется два. Как всем известно, устройство глаза подобно камере фотографического аппарата. Он содержит линзу, которая дает возможность изображению из внешнего мира попасть на чувствительную к свету сетчатую оболочку глаза. Как фотограф, сообразуясь с окружающим светом, расширяет или суживает диафрагму у об'ектива своего аппарата, так самопроизвольная диафрагма глаза—так называемая радужная оболочка глаза, Iris—становится шире или уже в зависимости от ослабления или усиления света.

Кроме этого механико-оптического приспособления, существует еще и химико-физическое, с еще более широкими пределами действия. Каждый знает, что войдя в полутемную комнату после яркого солнечного освещения, он в первый момент ничего не увидит. И наборот, при переходе из темноты в ярко освещенное пространство мы чувствуем себя вначале ослепленными и плохо видим. Но вскоре глаз в обоих случаях приспособляется, и мы начинаем хорошо видеть.

Это основано на том, что глаз отдохнувший в темноте, раздражается скорее и меньшим количеством света, чем тот глаз, который находился в ярко освещенной среде. Легко себе представить химическую картину происходящего, если мы допустим, что, благодаря воздействию света на сетчатую оболочку глаза, возникает такой химический процесс, продукты которого только медленно устраняются посредством диффузии и кровообращения. Если, благодаря сильному свету, образуется большое количество продуктов химического распада, которые не могут быть так быстро унесены кровообращением, то, следуя законам химической динамики, дальнейший процесс претерпевает торможение. Отсюда следует, что одинаковое количество света вызывает уже меньшее химическое разложение или, другими словами, будет действовать как более слабое раздражение. Наоборот, при слабом свете, происходит меньшее химическое разложение веществ и продукты разложения могут полностью уноситься, почему и достаточно здесь бывает уже небольшого количества света, чтобы вызвать нужную реакцию. Так же влияет и уменьшение концентрации исходных не разложившихся еще веществ под влиянием сильного света или увеличения при слабом действии света, при одинаково быстром их восстановлении путем обмена веществ.

Эти явления называются адаптацией.

В идеальном, предельном случае чувствительность устанавливается пропорциональной тому, насколько орган затронут и отражает некоторую постоянную долю раздражения, которое действует на соответствующий орган. К этому состоянию приближаются не только различные органы чувств человека и других живых существ, но и другие области психической жизни человека базируются на этом же основном законе, гласящем, что *данное наличное состояние есть мера замечаемости его изменений:* чувствительность пропорциональна функционированию. Этот закон, основной для всей нашей душевной жизни, был впервые высказан *Э. Г. Вебером* в 1851 г. и потом разработан *Г. Т. Фехнером* в 1858 г. Для науки о цветах он является основоположным во многих



отношениях. Наука о цветах представляет собой также и тот первый случай, где этот закон нашел свое практическое применение (при установлении норм).

Формулировки закона Фехнера. Во втором томе своей книги: «Элементы психофизики» *Фехнер* вырабатывает различные формулы для выражения своего закона. Самая общая форма, это диференциальное уравнение, выражающее зависимость между изменением раздражения dr и изменением чувствительности de. Прирост раздражения должен увеличиваться или уменьшаться в зависимости от силы уже существующего раздражения для того, чтобы ощущение получило соответствующий прирост; это выразится в следующей формуле:

$$\frac{dr}{r} = kde$$

Это уравнение представляет собой, между прочим, уже изложенные нами соотношения адаптации. При сильном общем освещении, например, при солнечном свете, r нашего уравнения велико. Для того, чтобы получить определенное значение для de, т.-е. чтобы достичь ощущения едва заметного увеличения светлоты, оказывается необходимым соответственно увеличить и величину dr, т.-е. прирост количества света. Наоборот, в полутемной комнате r очень мало; поэтому, уже малого количества света достаточно, чтобы вызвать заметное усиление ощущения. Величина *k* зависит только от природы раздражения и от индивидуальных особенностей воспринимающего суб'екта; вообще же она остается постоянной.

Интегрируя эту формулу, получим, если r_0 и e_0 суть соответствующие значения раздражения и ощущения:

$$\ln r - \ln r_0 = k_n (e - e_0) \text{ или } \log \frac{r}{r_0} = k (e - e_0)$$

Здесь ln означает натуральный логарифм. Можно вместо него брать обыкновенный логарифм, благодаря чему изменится только числовая величина: фактор k_n переходит в k, абсолютную величину которого мы без того определить не можем.

Из последней формулы $\log \frac{r}{r_0} = k (e - e_0)$ следует, что для одинаковых ступеней ощущения $e - e_0$ раздражение меняется не в одинаковой степени $r - r_0$, а в одинаковом *отношении* $\frac{r}{r_0}$. Ряд чисел с одинаковыми разностями называется арифметическим рядом, ряд же чисел с одинаковыми множителями называется геометрическим рядом. *Для того, чтобы ощущения изменялись на одинаковые ступени или в арифметической прогрессии, раздражения должны изменяться, сохраняя одно и то же отношение, т.-е. изменяться в геометрической прогрессии.* Ряд ощущений выраженный числами 1, 2, 3, 4... требует, поэтому, ряда раздражений: ra^1, ra^2, ra^3, ra^4 . . . . , где *a* есть множитель (фактор) ряда или знаменатель отношений двух смежных величин данного ряда, а r—число постоянное.

В такой форме закон Фехнера удобнее всего применим в науке о цветах. Для того, чтобы в ряде серых цветов, начиная с белого и кончая черным, получить ступени, одинаково отличающиеся для нашего восприятия друг от друга, мы должны раздражения, т.-е. прибавления белого, расположить таким образом, чтобы они шли в геометрической прогрессии. Например, если самая темная краска содержит 4% белого цвета,

то мы должны взять серый ряд, выражающийся числами: 4, 6, 9, $13,_5$, $20,_3$, $30,_4$, $45,_6$, $68,_4$ в процентах белого цвета. Каждый последующий член такого ряда должен содержать белого цвета в 1½ раза больше, чем предыдущий. В силу этого все члены его и будут производить впечатление одинаковоотстоящих друг от друга; так как множитель *a* можно выбирать произвольно, то можно получить бесконечное количество таких рядов.

Порог ощущения. Если мы постепенно уменьшаем раздражение, то ощущение тоже ослабевает, однако, не в той же мере; а при некоторой определенной предельной величине раздражения ощущение прекращается. Эту границу мы называем *порогом раздражения.* Отсюда вытекает особенно простое выражение вышеприведенной формулы. Назовем через r_0 то минимальное раздражение, при котором ощущение прекращается, тогда соответствующая величина e_0 равняется нулю. Уравнение получает следующий вид:

$$\log \frac{r}{r_0} = ke.$$

т.-е. ощущение пропорционально логарифму раздражения.

Отсюда ясно, какое значение имеет порог при измерении ощущений. Целесообразно, поэтому, основательно выяснить это понятие.

С явлениями порога мы встречаемся уже в неорганическом мире. Всякие весы, точные или неточные, обладают таким порогом, т.-е. имеется некоторый предельный малый вес, ниже которого данные весы уже совсем не отвечают. У неточных весов этот порог велик, у точных же—очень мал, но всегда он выражается некоторой конечной величиной. То же самое относится ко всем другим измерительным приборам; каждый обладает своим порогом чувствительности.

Причина этого вполне понятна: необходимо определенное количество работы, чтобы преодолеть инерцию и трение в данном приборе. Поскольку данное «раздражение» не в силах произвести такую работу, не получается и действия; прибор остается в состоянии покоя.

Не будет ошибочным, если мы будем в том же искать причину и психо-физического порога. Вызывание ощущения возможно также лишь в результате некоторой работы или, вообще говоря, расхода энергии. Поэтому для приведения в действие какого бы то ни было органа, необходима затрата энергии. Для каждого органа минимум необходимой затраты энергии определяется его устройством, которое также определяет и порог; меньшая энергия не вызывает эффекта, т.-е. не вызывает ощущения. Уже было указано, что живые существа в процессе их развития постоянно стремятся понизить порог чувствительности своих органов. У человека величина порога ощущения бывает различной в зависимости от рода занятий и одаренности. Музыкант с тонким слухом различает по высоте такие тона, которые кажутся профану совершенно одинаковыми. Ошибки неопытного человека при сравнении силы света выражаются в сотых долях, в то время, как опытный наблюдатель понижает свой порог, порою, до 2—3 тысячных. Однако и величина его порога есть некоторая конечная величина.

Общее значение порога. Для нашей душевной жизни факт существования порога чувствительности имеет громадное значение. Если бы он отсутствовал, мы никогда не находились бы в состоянии покоя, так как хотя бы и совсем слабые раздражения для всех областей чувств всегда имеются в природе. Бывают состояния чрезвычайной раздражительности, когда некоторые пороги почти отсутствуют, так как обусловливающие их задержки исчезают. Всем известно, что это есть уже тяжелое заболевание, потому что орган не пользуется в достаточной мере покоем,

необходимым для здорового состояния. Выздоравливание только тогда становится возможным, когда можно психологически или физиологически вызвать временную замену выпавших естественных задержек.

Порог дает нам также возможность воспринимать два предмета, как *равные*. Оставаясь идеально точными, мы должны признать, что в мире вообще не существует двух совершенно одинаковых вещей. Фактически, только существование порога чувствительности дает нам возможность уравнивать предметы. Благодаря развитию науки, которая стремится уменьшить этот порог, отождествление вещей постепенно ограничивается, однако, не уничтожается вовсе. И мучительные логические противоречия, которые возникают, благодаря предпосылке о существовании бесконечно малых и бесконечно больших величин, — противорения, которые болезненно ощущались уже греками, только в том случае могут быть основательно превзойденными, если мы на основании общего факта существования порога заранее отрицаем реальность подобных понятий и представлений о бесконечном. Новейшие успехи физики, требующие, чтобы даже самую энергию мы мыслили построенной из некоторых конечных элементарных величин, так называемых «квантов», стоят на таком именно пути.

Закон упрощения. Для всех ощущений наших органов чувств существует еще совсем общий закон следующего содержания: *многообразие ощущений может быть лишь меньшим, по сравнению с многообразием раздражений* и только в крайнем случае быть ему равным. Выше мы видели, что нашему восприятию доступно только различение чисел колебаний (как различных цветовых тонов), но недоступно различение плоскостей этих колебаний, так как недоступно восприятие разницы между поляризованным и неполяризованным светом. В отношении восприятия всего многообразия чисел световых колебаний наш глаз также отстает, так как он воспринимает как равные, многие смеси, совершенно различные по своему составу.

При всем этом развитие наших органов идет в том направлении, что расхождение между многообразиями раздражений и ощущений постепенно все уменьшается.

Глаз. Исследовав строение человеческого глаза в его историческом развитии, мы получим подтверждение вышеизложенного. По первоначальному своему устройству глаз представлял собой темное пятно на поверхности кожи. Благодаря своей более темной окраске, он воспринимал большее количество лучистой энергии, чем окружающая его среда, и вследствие этого он больше раздражался (нагревался), чем окружающие части тела. С ходом дальнейшего развития глаза разница между ним и его окружающим все возрастает, порог же раздражения уменьшается. Пятно становится более темным и глубже входит во внутрь. Ощущение температуры уничтожается, благодаря более тонко реагирующим химическим процессам. Образуются органы (трубки или линзы), посредством которых глаз начинает воспринимать не только раздражения, но и расстояние и направление. В этом заключается все возрастающее приспособление глаза к многообразию раздражений.

Приобретение способности воспринимать цвета есть необычайно важный шаг вперед в ходе развития глаза. Эта способность даже у человека является чем-то сравнительно новым. Существует много животных, которые хотя и имеют глаза с линзами, однако, не обладают (или,—еще не обладают) ни способностью распознавать цвета, ни соответствующими тому органами. Среди людей также встречаются единичные лица (лица, страдающие полной цветовой слепотой), в глазах коих отсутствует этот новый орган.

Этим новым органом являются *колбочки,* конические образования, выстилающие изнутри заднюю стенку глаза в центральной ямке, т.-е. в том месте глаза, где получаются самые точные изображения, даваемые светом, проникающим сюда через хрусталик. В боковых частях воспринимающего органа, служащих для общего дополнения положения, находится другой, более простой орган—*палочки.* В глазах вышеупомянутых животных и цветно-слепых людей имеются только палочки. Наблюдения показали, что распознавание и различение цветов происходит только в центральной ямке сетчатки и осуществляется посредством колбочек. В боковых областях своего глаза каждый человек является цветно-слепым, т. к. при помощи палочек он различает только светлое и темное[1]).

Дальше будет подробно изложено, какому упрощению подвергает наш глаз все колоссальное многообразие попадающего в него света, чтобы видеть цвета, как он их видит. Здесь же мы должны лишь настойчиво подчеркнуть факт существования этого упрощения, факт очень важный для всего учения о цветах.

При свете этих рассуждений можно поставить вопрос: нельзя ли ожидать в будущем еще большего приспособления нашего глаза к многообразию световых лучей? Ответ должен быть решительно утвердительным. Уже теперь мы имеем некоторые признаки этого. Пока, однако, эти успехи настолько слабо выражены, что не имеют практического значения.

Цвета вещей. Если представим себе значительные изменения солнечного света в течение дня с одной стороны, состояние нашего зрительного аппарата—с другой, и сравним с этими вечно меняющимися условиями зрения, большое постоянство, которое проявляют цвета окружающих нас предметов, то придется с удивлением спросить: каким же образом в итоге действия столь изменчивых факторов получается такой постоянный результат. Это постоянство в действительности создается не нашим зрительным аппаратом, но основывается на другом, чисто физическом явлении, закономерно связанном с нашими ощущениями.

Это физическое явление есть *отражение* света поверхностями тел. Мы видим, что каждое тело отражает определенную часть падающего на него света. Тело, которое отражает все падающие на него лучи и при этом их рассеивает, называется *белым.* Из этого не следует, что тело нам кажется белым потому, что оно отражает много света. Белая бумага и в сумерках кажется белой, хотя она отражает очень мало света. Но так как даже и вечером она отражает почти все лучи света, мы называем ее белой. Чтобы дать правильное определение «белого», мы должны знать, какое имеется в данное время общее освещение; мы должны, следовательно, рассматривать цвет, как явление относительное, соотнесенное. Если исключить эту возможность соотнесения путем смотрения через темную трубку, то мы оказываемся не в состоянии отличить белое от серого.

Отражает ли данная поверхность все лучи света или только часть их, зависит исключительно от ее свойств, но не зависит ни в какой мере ни от освещения, ни от настроенности глаза. Отсюда и происходит постоянство цветов предметов. Так как отражение света есть постоянная величина, которая не зависит от силы света,— всегда отражается определенная доля падающего света, будь то свет сильный или слабый,— мы и видим один и тот же цвет белым, вне зависимости от силы освещения.

[1]) Утверждения Оствальда здесь ошибочны. Колбочки рассеяны и по более периферическим местам сетчатки; в центральной же ямке они лишь собраны особенно густо. Поэтому цвета мы *различаем* и боковыми частями сетчатки, но лишь хуже, чем ее центром. *Прим. редактора.*

При этом нам становится ясной и важность закона Фехнера, по которому мы ощущаем *отношения*, но не абсолютные величины.

На таких же точно основаниях мы называем черной поверхность, у которой отражение света равно нулю. Серая поверхность есть такая, которая отражает одинаковые доли всех лучей спектра. Цветная же поверхность отражает различные доли различных световых лучей.

Во всех случаях отражение света зависит исключительно от тела, которому принадлежит данная поверхность и ни в какой мере не зависит от других причин. По привычке, в результате опыта, мы связываем эти отражательные свойства с нашими ощущениями. Насколько сильна эта привычка, мы видим из опыта Геринга, описанного выше, в главе первой. Можно прекрасно знать, что нижняя бумага белая, и что в отверстии нет никакой серой поверхности, и все-таки мы воспринимаем ее, как серую. Уменьшив верхний картон настолько, чтоб он был немного больше отверстия и увеличив нижнюю бумагу настолько, чтоб ее можно было видеть выступающей из-за картона со всех сторон,— мы заметим, что цвет отверстия сблизится с цветом всей бумаги, и покажется нам белым. Существует среднее положение, при котором можно видеть отверстие белым или серым в зависимости от направления внимания.

Вышеизложенные рассуждения имеют основоположное значение для измерительного отдела науки о цветах. Если бы отсутствовало постоянство коэффициента отражения (Remission), мы не имели бы величины, достаточно устойчивой для того, чтобы сделать возможными числовые определения. То суб'ективно изменчивое, что присуще существу цвета, регулируются отношением к этой об'ективной величине (отражению). И усовершенствование нашей способности распознавать верно цвета зависит и в общем и у каждого отдельного лица непосредственно от того, насколько определенно и уверенно данный человек согласует свои ощущения с постоянными величинами отражения. При ежедневном опыте мы приобретаем в этом большую уверенность и без научной какой-либо подготовки. Только при совсем необычайном освещении (например, при свете пламени натрия) способность подобного приспособления расстраивается.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

Ахроматические цвета.

Общее. Эта, генетически наиболее древняя, область мира цветов еще и теперь занимает обособленное положение, сперва выделившись в особую замкнутую и более простую группу, впоследствии же оказавшись основной осью всей системы цветов. Мы обозначаем всю эту группу цветов, которая простирается от белого к черному через серый, как *ахроматические цвета* (unbunten Farben).

То, что мы и этого рода зрительные восприятия включаем в понятие цвета, не есть нечто произвольное, а вполне логически обосновано. Вначале думали, что белый, серый и черный цвета такие же обособленные элементы видимого, как и зеленый, красный и синий. Но впоследствии оказалось, что они всегда входят в состав всех цветов, имеющихся в окружающем нас мире вещей. Если бы мы отказались от включения этих цветов в общее понятие цвета, то это привело бы к неимоверным трудностям и противоречиям. Во все времена живописцы и красильщики, художники и маляры, не задумываясь, называли их цветами. Со времен древней Греции, где черный и белый цвет были единственными, наряду с красным и желтым, и по сей день, эти два цвета на палитре и в кра-

сильном чану играют такую же роль, как и хроматические цвета. Отрицание их цветовой самостоятельности не исходит от знатоков этих явлений, а принадлежит философам, которые за черным, как понятием отрицательным (отсутствие света), не хотели признать самостоятельности. Но нужно только рассмотреть это явление с позитивной точки зрения и представить себе черный цвет, как полное лучепоглощение, чтобы устранить это недоразумение.

Таким образом, мы и будем рассматривать и изучать группу белого, серого и черного цветов, как самостоятельную и важную область мира цветов. Историческое первенство этих цветов находит свое отражение в том, что они занимают центральное место и входят во все ощущаемые нами цвета. То, что раньше не сознавали этого, было одной из основных причин, почему наука о цветах, начиная с *Гельмгольца,* так мало продвинулась вперед в сравнении с другими отраслями знания.

Происхождение ахроматических цветов. Мы воспринимаем как ахроматические те световые лучи, которые имеют тот же состав, что и солнечный свет, или исходящий из того же источника рассеянный дневной свет. Хотя состав дневного света постоянно меняется (как, например: при чистом небе он содержит гораздо больше синего, чем при пасмурной погоде), мы обладаем очень слабой чувствительностью к этим изменениям. Только к вечеру, когда желтые и красные лучи света особенно превалируют, благодаря лучепоглощению в воздухе, мы это «теплое» освещение воспринимаем, как нечто особенное.

Тот загадочный факт, что смеси лучей света различных чисел колебаний и различной длины волны мы воспринимаем, как простое ощущение белого или серого цвета, неоднократно, со времен *Ньютона,* привлекал к себе внимание. *Гете* находил это настолько противоречивым и трудно допустимым, что отрицал анализ *Ньютона* и утверждал, что дневной свет об'ективно так же прост, как просто суб'ективное ощущение белого цвета. *Гельмгольц* указал на резкое различие между смесью звуковых тонов разной высоты, и смесью световых лучей разных цветов. В первой смеси наше ухо может различать каждый тон в отдельности, во второй же глаз наш не способен видеть отдельно составляющие цвета. Об'яснения этому противоречию он, однако, не дал. Также и *Шопенгауэр,* с его теорией качественного деления сетчатой оболочки глаза, не дал нам основных положений для чего-либо, что помогло бы нам психологически об'яснить это явление.

Только генетическая точка зрения дает нам такое об'яснение. Выше мы видели, что примитивный глаз не воспринимает ничего, кроме различий между сильным и слабым светом. Ступени развития глаза отличаются именно тем, что он постепенно начинает воспринимать разнородность света. Было время, когда ни одно живое существо не было способно воспринимать отличий в числе колебаний,—того, что мы теперь называем цветом. И современный наш глаз еще сохранил многие особенности этого состояния. Самая важная из них та, что и теперь мы всю массу световых лучей ощущаем как цвета: белый, серый и черный. Только представив себе это явление, как пережиток первобытного состояния, вместо того, чтобы рассматривать представление об ахроматических цветах как систематический результат нашего знакомства с хроматическими—как это еще и теперь непроизвольно случается с некоторыми—мы освобождаемся от всех трудностей.

Мы и по сей день обладаем аппаратом палочек в нашем глазу, который только и воспринимает ощущения ахроматические, вне зависимости от числа колебаний. Поэтому же эта область цветоощущения сохранится надолго, и нельзя себе представить, чтобы здесь в близкое время наступила какая-либо перемена.

Понятия. Идеально-белый цвет мы приписываем той поверхности, которая отражает *все* падающие на нее лучи света и при этом рассеивает их во все стороны. Хотя еще и не существует исследования, в коем белизна поверхности, обладающей всегда устойчивыми свойствами и по желанию изготовленной, была бы измерена в абсолютной мере, мы и теперь можем признать за бесспорное, что достаточно толстый слой сернокислого барита (сернобариевой соли) ближе всего в этом отношении к идеалу; возможная здесь ошибка может быть выражена лишь немногими сотыми долям, т.-е. близка к порожной величине.

Идеально-черный цвет дает такая поверхность, которая не отражает никаких лучей. Ящик с отверстием, хорошо выкрашенный внутри черным, осуществляет этот идеал с точностью, которая лежит далеко за порогом чувствительности (*абсолютно черное тело по Кирхгоффу*).

Нейтрально-серым цветом обладает такая поверхность, которая отражает одинаковое количество всех падающих на нее лучей. Смеси из черных и белых красителей никогда не бывают нейтрально-серыми, большей частью они имеют синий оттенок вследствие тусклости (Trübungsfarbe). Чтобы сделать их нейтральными, необходимо примешать к ним определенное количество темно-желтого красителя (желтой охры). Удачно ли сделана эта примесь, мы узнаем при помощи вращающегося круга (диска) или другим путем оптического смешения чисто белого и чисто черного цвета и сравнения полученных таким образом смесей с цветом данной составленной нами краски. При этом легко бывает заметить остаток хроматического цвета; сообразно с этим смесь меняют до тех пор, пока не получится полное тождество окраски с нейтрально-серым.

Так как мы привыкли к синеватому оттенку серого цвета, получаемого от смешения соответствующих красителей, то нейтрально-серый цвет вначале кажется нам коричневатым, «мышиным» серым. Но очень скоро в нашей памяти прочно устанавливается представление чисто серого цвета и приобретается уверенность суждения при сравнениях. Однако, после рассматривания хроматических цветов эта способность оценки на короткое время расстраивается, благодаря возникновению последовательных образов.

Характеристика ахроматического ряда. Ряды ахроматических цветов также постепенны и непрерывны, как и все другие ряды цветов. Между идеально-черным и идеально-белым можно вставить бесконечно большое число средних ступеней, близких друг к другу настолько, что разница между ними будут лежать ниже порога.

Ахроматические цвета образуют *одномерный* ряд от темного к светлому, с белым и черным на концах. Каждый серый цвет имеет вполне определенное место в этом ряду, так что все вышележащие цвета выглядят темнее, а все ниже лежащие—светлее. Перейти от одного серого цвета к другому можно только по одному пути, а именно—через промежуточные серые цвета.

Благодаря существованию порога различения для ощущений серых цветов, число различимых ступеней серого—конечно. Для среднего глаза оно колеблется между 300 и 400.

Измерение ахроматических цветов. Ахроматические цвета можно измерять только обладая идеально белой поверхностью или такой поверхностью, у которой известно ее отношение к идеальному белому цвету. Тогда постепенно уменьшают количественно-учитываемым образом освещение этой белой поверхности до тех пор, пока она не станет такой же серой, как та поверхность, которую мы с ней сравниваем. Теперь обе поверхности отражают одинаковое количество света, п. ч. мы их уравняли. Так как количество света отраженного нашей белой поверх-

ностью нам известно, то мы узнаем и ту долю белого света, которую отражает данная измеряемая серая поверхность, в зависимости от своих особенностей.

Такого рода измерения можно производить любым фотометром. Специально для этой цели сконструированный полутеневой фотометр мною описан в другом месте — «Physikalische Farbenlehre». 2 aufl. S. 80. Leipzig, 1923.

Всякий серый цвет определяется его светлотой (Helligkeit), или содержанием в нем белого цвета, т.-е. тем количеством белого света, которое он отражает. Все эти числовые величины—суть правильные дроби. Каждый серый цвет можно выразить уравнением $W + S = 1$, где W означает содержание белого, а S — черного. Если $W = 0$, то мы имеем дело с идеально черным; если же $S = 0$, то перед нами идеально белая поверхность.

Точность этих измерений в лучшем случае доходит до 0,2—0,3% благодаря существованию порога ощущения. Для практических целей обычно достаточно и одной десятой этой точности, и даже меньше. В особенности там, где оценка производится с точки зрения эстетической, пределы ошибок могут доходить до 10% наличного содержания белого.

Для краткости, количественные индексы серых цветов изображают не просто дробью (десятичной), а лишь двумя цифрами, отбрасывая запятую и ноль, стоящий перед ними. Таким образом серый 25 содержит 0,25 белого, а черный с содержанием 0,04 белого выражается в виде 04.

Закон Фехнера. Если мы построим ряд ахроматических цветов, которые содержат 1,0, 0,9, 0,8, 0,7, 0,6 . . . . . до 0,1 и 0,0 белого, то он никоим образом не будет производить впечатления ряда одинаково-удаленных друг от друга ступеней. Между 1,0, 0,9, 0,8 и т. д. различия так незначительны, что на первый взгляд их вовсе нельзя отличить друг от друга; зато между 0,2, 0,1 и 0,0 образуются слишком большие переходы. Для получения одинаковых расстояний мы должны ступени в белом конце увеличить, а в черном уменьшить.

Это следует из закона Фехнера. Как раздражение в этом случае мы должны рассматривать количество белого цвета, которое содержится в данных ахроматических цветах. По закону же Фехнера эти количества только тогда могут вызвать равномерно отстоящие друг от друга ступени серого цвета, когда сами они расположены в геометрический ряд.

Возникает лишь вопрос: какой же знаменатель надо брать? Принимая во внимание требования рационального нормирования—о чем речь впереди—мы должны поступить следующим образом. Так как все наши исчисления ведутся по десятичной системе, то мы вначале выражаем ступени серого ряда с содержанием белого в количествах: 1,00, 0,10, 0,01, 0,001 и т. д. Таким образом, мы получаем нисходящий геометрический ряд с фактором $^1/_{10}$. Но, очевидно, что эти ступени будут слишком большими.

Необходимо каждую из них разделить, следуя десятичной системе, еще на 10 ступеней. Эти ступени можно найти, если взять числа соответствующие логарифмам равным 1,000, 0,900, 0,800, 0,700, 0,600. . . . . 0,100 и принять наибольшее из них за 1. Таковыми окажутся в результате числа 1,00, 0,79, 0,63, 0,50, 0,40, 0,32, 0,25, 0,16, 0,125, 0,100. Если вставим десять ступеней между 0,100 и 0,010, то найдем эти же числа, только в десять раз уменьшенные. То же повторится между 0,010 и 0,001 и т. д. Так как разница между двумя ступенями в среднем составляет около 20%, то она лежит значительно выше порога, а потому ощутима. Дальнейшее деление на десять новых, более мелких ступеней, неприемлемо,

так как разница между этими делениями будет лежать уже ниже порога различения.

Данные величины делят непрерывный серый ряд на одинаково отстоящие для нашего восприятия отрезки. Нам же нужны не отрезки, а точки,—т.-е. определенные серые цвета. Эти цвета мы и можем получать посредством смешения всех цветов каждого данного отрезка ряда. Соответствующие им числа суть средние геометрические двух граничных чисел. Мы получаем, таким образом, следующий ряд, который обозначаем сокращенно, как было указано выше, цифрами, показывающими процентное содержание белого цвета:

89	71	56	45	35	28	22	18	14
a	b	c	d	e	f	g	h	i
11	8,9	7,1	5,6	4,5	3,5	2,8	2,2	1,8
k	l	m	n	o	p	q	r	s
1,4	1,1	0,89	0,71	0,56	0,45	0,35		
t	u	v	w	x	y	z		

Мы заканчиваем наш ряд на 0,35, так как очень мало таких поверхностей, которые бы отражали света так мало или еще меньше. Теоретически можно продолжать этот ряд до бесконечности. Под числами находятся буквы латинской азбуки, которые обозначают ступени серого ряда, так же, как в музыке тона обозначаются буквами. Каждая буква может обозначать написанное над нею количество белого света (в процентах), или количество черного цвета, если возьмем число дополнительное до 100. Таким образом, буква i может означать 14% белого цвета или 86% черного. На практике для большинства случаев эти деления еще слишком мелки. Поэтому, мы из каждых двух чисел опускаем одно и получаем *практический серый ряд* (шкалу бело-черного). Мы обрываем его на букве *p*, так как у буквы *p* находится самый глубокий черный цвет, который можно получить на бумаге при помощи типографской черной туши:

89	56	35	22	14	8,9	5,6	3,5
a	c	e	g	i	l	n	p

На прилагаемой таблице № 1 эти ступени *a c e g i l n p* и представлены. Очень хорошо было бы заучить их наизусть, для того, чтобы можно было различать ступени серых цветов и не имея перед глазами масштаба для сравнения. Для неопытного человека, который ничего не знает о расположении цветов, мысль о таком заучивании покажется абсурдом. Но нужно только попробовать это сделать, чтобы убедиться в ее осуществимости. Такое заучивание совершенно осваивает нас с миром ахроматических цветов.

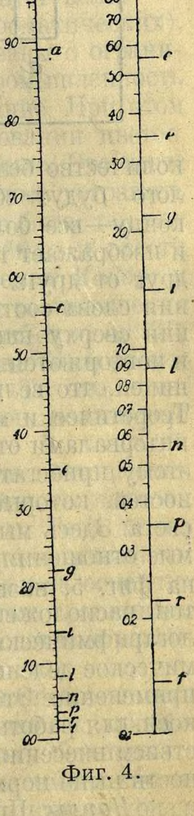
Бесконечность и порог ощущения. Приведенный выше геометрический ряд серых цветов начинается с идеально-белого цвета, который вполне определяется условиями полного отражения и рассеивания. Хотя *И. Ламберт* еще в семнадцатом веке дал такое определение белому цвету и это определение нашло свое применение и в других отраслях науки, как, например, в астрономии,—для авторов, работающих в области науки о цветах, оно осталось по сей день чуждым. Даже *Геринг* приводит хорошо известный опыт (с отражением дневного света от посеребренного покровного стеклышка, лежащего на белой бумаге)—имеющий целью доказать, что белый цвет можно усиливать безгранично. Мы тут наталкиваемся на ошибочное смешение белого цвета *с блеском. Посеребренное* покровное стеклышко не рассеивает свет, а только отражает его; оно, поэтому, не белое, а блестящее.

Несколько иначе проявляет себя черный конец ряда. Первый, описанный нами выше, ахроматический ряд был расположен непосредственно по степеням светлоты и носит, поэтому, название *аналитического* ряда и заканчивается черным цветом со светлотой, равняющейся нулю. Такой черный цвет мы можем всегда воспроизвести в отверстии ящика, окрашенного изнутри в черный цвет. Не существует, однако, ни одного такого красящего вещества, которое дало бы этот черный цвет, в чем мы легко убеждаемся, когда сравниваем различные черные окраски с таким отверстием вычерненного внутри ящика. Составленный согласно закону Фехнера геометрический ряд выражает этот факт тем, что совершенно черный цвет является в нем бесконечно удаленным. Сколько бы мы ни продолжали этот ряд, всегда можно прибавить еще одну ступень, которая была бы меньше предыдущей в определенном количественном отношении.

На практике, все-таки, этот ряд имеет предел, благодаря вышеозначенному свойству всех черных тел отражать всегда и некоторое измеримое количество белых лучей. Этот предел очень непостоянен и с развитием техники постепенно удаляется.

Здесь необходимо вспомнить также и о существовании *порога* ощущения, благодаря которому при известной силе света наше ощущение этого света уже прекращается, так как раздражение лежит ниже порога, а поэтому для нас неощутимо. Этим обстоятельством вызывается необходимость дать цветовому ряду законченный вид.

Тут же необходимо указать и на следующее: шкала серых цветов, изображенная в виде нисходящего геометрического ряда, представляет собой не один только «ряд Фехнера», а бесконечное множество таковых. Это происходит оттого, что таковой ряд выражает, ведь, не силу падающего света, но величины отражения. В зависимости от силы освещения, ступени шкалы будут давать самые различные количества света. В особенности при слабом свете—многие ступени конца черного ряда могут опуститься ниже порога и будут все выглядеть черными. В этом можно убедиться, рассматривая такую шкалу в сумерках. При хорошем же свете даже ступени r и t находятся выше порога чувствительности и их можно легко отличить друг от друга.



Фиг. 4.

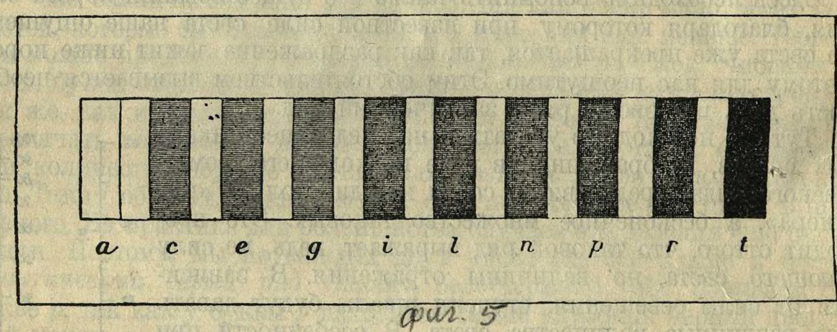
Это и послужило причиной того, что при выработке шкалы мы пользовались исключительно законом Фехнера, не обращая внимания на порог чувствительности в темном конце. Включение этого обстоятельства оправдало бы себя только при определенном освещении, не говоря уже о существовании индивидуальных различий в величине порога. Шкала, предназначенная для общего пользования, не должна содержать этих переменных величин, если мы желаем, чтоб она была достаточно универсальна. Тот кто пользуется шкалой, должен с своей стороны обратить внимание на то, какова средняя интенсивность освещения вокруг его рабочего стола. Сообразуясь с этим он и выбирает область шкалы, наиболее ему подходящую.

Пространственная схема. Несмотря на то, что вышеизложенные отношения между аналитической и психологической серой шкалой так просты, что для их об'яснения не требуется рисунка, мы все-таки считаем полезным дать таковой. Это необходимо, потому, что в дальнейшем, в бо-

лее сложном случае, с цветными треугольниками одинаковых тонов, нам придется делать подобные же передвижки и если мы здесь познакомимся с более простым случаем, то в дальнейшем нам будет легче понять все излагаемое.

На фиг. 4 левое деление представляет собою аналитическую гамму, разделенную на сто ступеней. Правое деление представляет собой точки a c e g i l n p r t практической шкалы серых цветов, расположенных соответственно содержанию в них белого цвета. Из рисунка видно, как велики расстояния ac и cl, как они быстро уменьшаются и в точках r и t так приближаются друг к другу, что становится невозможным нанести между ними еще какие-нибудь точки. Теоретически, все-таки, мы должны поместить между точкой t и конечной точкой еще бесконечное множество ступеней шкалы серого.

Мы можем представить это изображение и в другом виде, расположив ступени серой шкалы, которые мы воспринимаем, как равно отстоящие друг от друга, на одинаковых расстояниях друг от друга, как то сделано на рисунке шкалы (фиг. 5). В таком случае масштаб, обозначающий



фиг. 5

количество белого, мы должны уже нарушить так, что точки вблизи белого будут сближены друг с другом, точки же лежащие к темному концу—все больше раздвинуты. Левая сторона правого рисунка фиг. 4 и изображает такие деления, которые соответствуют одинаково-отстоящим друг от друга ступеням Фехнеровского ряда, написанным справа. Деления слева соответствуют логарифмической счетной линейке. В направлении сверху вниз они соответствуют нисходящему геометрическому ряду и повторяются между 10 и 01, также как между 100 и 10, с той только разницей, что величины расстояния между ними здесь в десять раз меньше. Теоретически мы это деление можем продолжать до бесконечности, с интервалами от 01 до 001, от 001 до 0001 и так далее. Практически к этому прибегать не приходится, так как существует очень мало поверхностей, которые отражают меньше одной сотой доли падающего на них света. Здесь мы имеем, следовательно, изображенными графически, те самые отношения, о которых только что говорили выше. Такое деление, как на фиг. 5, называется *логарифмическим* делением. Шкалу серых цветов, расположенную согласно закону Фехнера, тоже поэтому называют логарифмическим рядом или логарифмической шкалой. Такое логарифмическое деление всегда необходимо там, где закон Фехнера находит свое применение. Это касается особенно всякого рода *нормировки*, значение коей для работы и обихода необычайно велико. И самым ценным следствием внесения в науку о цветах меры и числа является именно возможность ныне нормировать весь мир цветов.

Нормы. Приведенное выше изображение серого ряда в виде небольшого числа вполне определенных точек, которые сообразно градациям

ощущений психологически-равно отстоят друг от друга,—имеет очень большое значение. Прежде всего оно дает возможность рационализировать мир ахроматических цветов. Совсем не трудно удержать в памяти ступени a c e g i l n p, настолько точно, чтобы можно было легко их узнать без непосредственного сравнения с готовой нормой. Если мы усвоим, что

буквой	a	обозначается	белый цвет (приблизительно цвет хороших свинцовых белил).
»	c	»	белый сероватый
»	e	»	светло-серый
»	g	»	светлый средне-серый
»	i	»	темно-средне-серый
»	l	»	темно-серый
»	n	»	серовато-черный
»	p	»	глубокий черный,

то мы будем чувствовать себя в этой области вполне уверенно.

Было поэтому предложено и практически широко проведено в жизнь считать вышеозначенные ступени a c e g i l n p r t. . . за общеприложимо-годные нормы.

Это означает, что при выборе того или иного серого цвета берется уже не какой угодно произвольно установленный оттенок серого, а та из ступеней a c e g. . . ., которая в данном случае соответствует цели.

Благодаря нормированию серых цветов (а также и хроматических), они выигрывают во всех отношениях, которые вообще связаны с ограничением произвола в какой бы то ни было области. Вся промышленность в настоящее время стремится широко провести нормирование. При этом обнаруживается целый ряд правил, которые при нормировании цветов были выяснены более последовательно, чем где бы то ни было. Это легче всего было сделать именно здесь, так как здесь не приходилось устранять какие-либо старые, привычные установления, ибо их еще не было, так как в связи с отсутствием метода измерения цветов нельзя было и ввести какие-либо вполне об'ективно определенные нормы. Со времен *Майера* и *Ламберта,* было произведено большое количество опытов расположения цветов в виде коллекции проб цветов или соответственных окрасок. Но ни одна из этих коллекций не была принята, так как все они были произвольны и не давали уверенности в своей неизменности. Только измерение и покоящееся на нем абсолютное определение цветов, независимо от сохранившихся носителей их, дали эту возможность.

Цвета и звуки. Вышеизложенный метод расположения цветов напоминает собой работу, которая в продолжение долгого периода времени имела место при установлении тонов музыкальной гаммы. Тона также образуют постепенный ряд, начиная с низших и кончая высшими, из которого мы берем небольшое число ступеней и принимаем их за основные точки гаммы. Однако, необходимо здесь же, где мы впервые сравниваем цвета со звуками, точно указать на имеющиеся пункты сходства и различия между теми и другими.

Сходство заключается в непрерывности, простоте и односторонности (черное: белое, низкий: высокий) обеих групп и в том, что и цвета и звуки располагаются в геометрический ряд, согласно закону Фехнера.

Различие состоит в том, что ряд звуковых тонов не имеет вполне определенной границы ни в самом низком, ни в самом высоком конечном тоне, в то время, как серый ряд цветов имеет вполне определенные границы в идеально черном с одной стороны и в идеально белом—с другой.

Границы тонов зависят от степени развития слуха и бывают разными у различных людей. Зато ряд тонов имеет натуральное деление на октавы, в пределах которых всегда повторяются одни и те же отношения между тонами. Этого мы не встречаем у ряда серых цветов. Серый ряд имеет естественные границы, но разделение его искусственно, и весь он состоит как бы из одной единственной октавы.

Далее, тона вполне определяются числом колебаний, наипростейшие числовые отношения которых находят свое выражение в гамме. В ахроматическом свете имеются одновременно все числа колебаний, и ступени серого ряда определяются по светлоте (Helligkeit) или по содержанию белого цвета. Эти величины лежат в пределах между 0 и 1.

Так как серый ряд не обладает естественным делением, то мы должны подразделить его искусственно. Об этом уже и было сказано выше. При помощи десятичной системы, мы дали серому ряду такое деление, которое привело к серой шкале a b c d .... с вполне определенными однозначными ступенями.

Здесь вскрывается еще одно существенное отличие от тонов. Абсолютная слуховая память, т.-е. способность при слышании узнавать тоны do, re, mi и т. д., есть дар весьма редкий, способность же различать белый, светло-серый, темно-серый, черный и т. д. напротив свойственна всем. Это верно не только по отношению к ахроматическим цветам, но также и к хроматическим. Никто не спутает желтый цвет с красным или синий с оранжевым—конечно, если он не принадлежит к небольшому числу людей страдающих цветовой слепотой. Поэтому мы легче ориентируемся в мире цветов, чем в мире звуков. И если мы еще не овладели этой областью вполне, то только потому, что до сих пор не было ни измерения цветов, ни упорядоченного расположения всех цветов, обоснованного количественно. Но практика последних лет показала, что память на ахроматические цвета требует только методической помощи и упражнения для получения самых неожиданных результатов. Новая наука о цветах и указывает нам методы такой тренировки.

Гармония. Характеризующиеся простыми соотношениями между числами колебаний определенные звуки гаммы обладают свойствами гармоничности, т.-е. последовательное или одновременное звучание их приятно или красиво для слуха. Другими словами, только тона с простыми отношениями между числами колебаний гармоничны и всем гармоничным тонам свойственны именно такие простые отношения.

Можно ли это явление возвести в закон? Ответ должен быть утвердительным. И во всех других областях мы можем наблюдать, что простые закономерные отношения между данными величинами обусловливают гармонию. Соответствующие исследования показали, что искусство во всем его многообразии покоится на этом основном законе: закономерность = гармонии. И это отношение обратимо: гармония = закономерности. Другими словами: все, что гармонично, то и закономерно, и все что закономерно, то и гармонично.

Это можно доказать на примере. До сих пор не было ничего известно о гармонии серых цветов, потому что не знали как закономерно расположить ряд серых цветов. Это было осуществлено впервые нами и тем самым были открыты пути в изучении гармонии серых цветов. Чтобы открыть такие гармоничные сочетания мы должны искать самые простые закономерные соотношения, существующие между серыми цветами.

Нельзя говорить о закономерности там, где речь идет только о двух серых цветах, так как здесь имеется налицо только одно расстояние или одно отношение. Закон же всегда сопоставляет две (или больше) величины. Поэтому для гармонии необходимы три серых цвета. Самое простое

отношение между ними это такое, когда их расстояния друг от друга равны. Три серых цвета с одинаковыми интервалами дают гармонию серого.

Такие цвета с одинаковыми интервалами мы и получим при *нормировании* серого ряда; практический ряд a c e g i l n p состоит из таких равноотстоящих друг от друга цветов. Следовательно, из него можно получить большое количество различных гармоний. Можно использовать одинаковые расстояния каждой пары соседних цветов и образовать гармонии:

a, c, e
c, e, g
e, g, i и т. д.

Можно пропустить по одной ступени; тогда получим гармонии:

a, e, i
c, g, l и т. д.

Или можно пропустить по две ступени, и тогда получим гармонии:

a, g, n
c, i, p.

Дальнейших сочетаний получить нельзя если ряд оканчивается ступенью p; при более же длинном ряде они возможны.

Соответствует ли действительность этим дедуктивным положениям? —Безусловно. Я приготовил образцы возможных серый гармоний (до ступени p их существует 12) и показывал их очень многих лицам. Все без исключения подтвердили наличие гармоний, многие выражали изумленное восхищение ими.

Затем я произвел обратный опыт, т.-е. приготовил сочетание серых цветов, отстоящих на неравные расстояния друг от друга. Лица не подготовлённые не высказывали при созерцании их ничего особенного, ибо такие незакономерно построенные сочетания мы имели возможность наблюдать постоянно всюду, тогда как закономерно гармоничные редки. Зато если зрителю приходилось в прошлом испытывать удовольствие от наблюдения действительно гармоничных сочетаний серых тонов, то он с чувством неудовольствия отворачивался от негармонирующих образцов. Только один из моих зрителей заявил, что незакономерно составленные сочетания так же красивы, как и закономерно ставленные. Это был «ученый искусствовед».

Нормы и гармонии. Равноотстоящие друг от друга нормы серых цветов получили такое именно расположение потому, что понятие: «нормирование» требует, чтобы эти нормы не были в одном месте тесно сдвинуты, а в другом растянуты, но находились бы психологически на одинаковых расстояниях друг от друга. При исполнении этого чисто практического требования обычно и не задавались вопросами эстетики. Когда же практическое требование было выполнено, то оказалось, что тем самым были найдены и единственно возможные эстетические нормы.

Этот факт при наличной тенденции к нормированию не только в нашей, но и во всемирной промышленности наводит на дальнейшие размышления в этом направлении. Здесь, конечно, не место распространяться об этом. Несомненно одно: *при дальнейшем изучении мира цветов нас должна интересовать только закономерность, красота же явится* при этом *сама собой,* как дополнение.

Шкала серых цветов, как измерительный прибор. Идея нормирования серых цветов имеет своей тенденцией прекращение произвольного приготовления серых красок (для бумаги, тканей, пряжи и проч.). В будущем эти краски не будут вырабатываться случайными, но должны

будут соответствовать нормам: a c e g i l n p... Это дает целый ряд преимуществ. Во-первых, сократится число рецептов для приготовления красок, лаков и т. д. Оно будет ограничено нормами, и это вызовет значительное упрощение производства. При заказах будет легче обозначать желательный краситель. Знаки a c e.... можно писать, телеграфировать, телефонировать и т. д.

Посылка образцов, благодаря этому, становится излишней. Нормировка красок облегчает также составление гармоничных смесей. Если выкрасим, например, машину серым g и проведем линии цветов c и l (все эти краски имеются в продаже), то она приобретает выигрышный вид, привлекающий покупателя и радующий хозяина.

Поэтому, необходимо нормы a c e g i l n p всегда иметь под рукой. пока их употребление еще не стало всеобщим. Теперь маленькие серые шкалы уже имеются в продаже, наряду с ' метром и термометром (см. фиг. 5).

Такая шкала имеет вид небольшой рамки, формата 30 на 113 миллиметров, поперек которой наподобие ступенек лестницы наклеены полоски бумаги, выкрашенные в цвета a c e g i l n p. Эту лестницу цветов кладут на серый цвет, подлежащий измерению: рассматривая этот серый цвет в просвет между ступеньками лестнички, очень легко в одних случаях установить имеющееся сходство, в других же определить между какими ступенями находится измеряемый серый цвет. В то же время можно выяснить, имеем ли мы дело с нейтрально-серым или к нему примешивается еще и некоторое количество хроматического цвета.

Кроме этого непосредственного применения, шкалу серых цветов можно использовать как *фотометр*. Изготовляемые в наше время фотометры основываются на производимых и с помощью особого приспособления измеряемых изменениях света, нужных для того, чтобы в поле зрения наступило оптическое равенство. Если мы приготовим ряд точно измеренных ступеней серого цвета, то можно будет обойтись без специального приспособления для изменения силы света. Мы можем это приспособление заменить рядом серых ступеней, благодаря чему прибор значительно упрощается. Эта идея уже нашла довольно разнообразное практическое применение, но ее можно развить и еще шире.

Самое ценное для нас применение такого серого ряда—это измерение количества белого и черного цветов, содержащихся в хроматических цветах. В дальнейшем мы к этому вернемся.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

Круг цветовых тонов.

Хроматическое (цветное) и ахроматическое (бесцветное). Наряду с ахроматическими, вторую, большую часть мира цветов составляют цвета хроматические. Здесь мы впервые будем говорить о присущем этим цветам свойстве, так называемом *цветовом тоне*. В то время, как ахроматические цвета мы можем получить из смеси белого и черного, в состав хроматических цветов входит еще третий элемент, называемый хроматическим, насыщенным, чистым и т. п. цветом. Так как новая наука о цветах вкладывает в это понятие совершенно иное содержание, чем старое учение о цветах, то необходимо дать ему и новое название. Мы называем тот тон цвета *полноцветным* (Vollfarbe), у которого цветовой тон выражен в полной мере так, что он не содержит примесей других цветов, т.-е. ни белого, ни черного. В данном случае слово «примесь» надо понимать не в физическом, а в психологическом смысле, именно в смысле отсутствия

ощутимой примеси. Полноцветные цвета, как и абсолютно белый и абсолютно черный, суть идеальные цвета. Реальные цвета содержат все три элемента, а именно: долю полного цвета, белый и черный.

Все цвета содержащие ощутимые количества полных цветов мы называем хроматическими, в отличие от ахроматических, которые содержат только черный и белый цвета. Слово хроматический (bunt), как и большинство слов имеющих отношение к цвету, имеет неопределенное и переменное значение. С одной стороны говорят о пестром (хроматическом) платье, в противоположность к черному траурному платью и подразумевают под этим также и однородные цвета, как синий, красный и т. д. С другой стороны цветущий луг также называют пестрым (bunt), чтобы выразить то, что там видны различнейшие цвета рядом друг с другом. Прогресс же науки требует более точной и однозначащей зависимости между понятием и словом. Таким образом, мы откинем одно из двух обозначений данного слова и ограничим данное слово только одним понятием. Выбор падает на первое. Хроматическими мы назовем все то, что имеет цветовой тон (желтый, красный, зеленый и т. д.). Противоположность этому—ахроматическое — уже нам знакомо.

Круг цветовых тонов. Теперь мы обратимся к различным закономерностям цветовых тонов. Со времен *Ньютона* нам известно, что все цветовые тона можно расположить непрерывно в виде круга (или другой замкнутой линии),—так называемого круга цветовых тонов.

Группа цветовых тонов, следовательно, так же *одномерна*, как и группа ахроматических цветов. Но в то время, как ахроматические цвета имеют вполне определенные конечные точки, таковые отсутствуют в группе цветовых тонов. Эта группа вообще не имеет конечных точек, а замыкается в себе самой. Наипростейшим ее изображением будет, следовательно, обыкновенная окружность.

Это размещение обусловливает собой некоторые существенные отличия от ахроматического ряда. В то время как у серого ряда конечные точки—белый и черный цвета—более различимы между собой, чем какая бы то ни была другая пара цветов, у цветовых тонов наблюдается как раз обратное. Если разделим круг в каком бы то ни было месте, то получившиеся при этом два конца так похожи друг на друга, что их легко можно смешать один с другим. Это есть следствие непрерывности ряда цветовых тонов.

Если мы исходим из какой-нибудь точки ряда и удаляемся в любом направлении, то цвета становятся все менее похожими на исходный цвет. В ряде серых цветов мы в конце концов достигаем одной из тех точек, где разница достигает своей наибольшей степени. В круге цветовых тонов цвета в начале мало разнятся от первоначального цвета. Эта разница при известном удалении также достигает своей высшей точки. В дальнейшем же, однако, тона цветов начинают приближаться к исходному пункту и в конце концов совпадают с ним. Можно, поэтому, расположить цветовые тона таким образом, чтобы цвета наименее сходные между собой разместились в круге противоположно друг другу. Как этого достигнуть будет изложено ниже.

Непрерывный ряд цветовых тонов совпадает с спектральным рядом, где цвета расположены согласно возрастающему числу колебаний обусловливающих их световых лучей. Это совпадение необходимо, так как оба ряда плавны и всякое другое расположение сделало бы один из них не непрерывным. Круг цветовых тонов мог бы быть открытым и раньше спектра. То, что этого не случилось, доказывает как трудно расположить в первый раз даже простую группу. Но как только это удалось кому-нибудь, то такое расположение уже кажется «само собой понятным».

Приготовление круга цветовых тонов. С помощью красителей: хинолиновой желтой, эозина, бенгальской розы, синей (Wollblau) для шерсти и Нептуновой синей (Neptunblau), взятых в растворах от 3 до 5%, можно получить круг цветовых тонов такой чистоты, какая только достижима при современном состоянии техники. Этими растворами пропитывают белую пропускную бумагу. При этом необходимо смешивать попарно лишь соседние краски, как, например, хинолиновую желтую с эозином, эозин с бенгальской розой и т. д.; наконец, Нептунову синюю (Neptunblau) с хинолиновой желтой. Сперва красят чистыми растворами, затем смешивают два раствора пополам. Потом включают промежуточные ступени, т.-е. каждый из этих десяти растворов (пять чистых красок и пять смесей) смешивают пополам с соседним раствором. Так продолжают до тех пор, пока доходят до границы, за пределами которой уже нельзя различить две соседние краски. Это наступает в одних случаях раньше, в других позднее. В тех и других случаях продолжают смешивание до тех пор, пока доходят до порога.

Таким образом можно получить сотни красок, которые дают возможность составить непрерывный и плавный круг цветовых тонов. В *последовательности* расположения цветов не может быть никакого сомнения, благодаря непрерывности ряда. О расстояниях же между отдельными цветами пока не установлено ничего определенного. Если бы удалось всюду одинаковым образом дойти до порога, то в полученном круге должны были бы находиться друг против друга: желтый и ультрамариновый синий, оранжевый и ледяной синий, красный и морской зеленый, фиолетовый и лиственный зеленый, при чем каждому цветовому тону соответствовала бы одна и та же угловая величина. Эти определения очень проблематичны, и тона цветов относятся между собой, как жемчужины, нанизанные на очень длинную скрепленную нитку: расположение последовательности вполне точное, расстояния же ступеней одной от другой еще произвольны.

При рассматривании круга цветов без всяких предпосылок можно легко и уверенно различить восемь главных цветов, которые выше были указаны. Наиболее трудно вначале различение ледяного синего от морского зеленого. Эти цвета беспрерывно переходят один в другой, и очень трудно установить их границы; легче всего это удается у желтого цвета, который не должен быть ни зеленоватым, ни красноватым. Он немного больше впадает в зеленый цвет, чем хинолиновая желтая. Пикриновая кислота (еще лучше нейтральный пикрат) дает этот желтый цвет точно.

Принцип внутренней симметрии. При поисках основного правила, по которому можно было бы составить окончательное и вполне обоснованное расположение цветовых тонов в цветовом круге, задача сводится к задаче подразделения круга. Последнее производят таким образом: берут определенное расстояние между обеими ножками циркуля и откладывают его в виде хорд, по всей окружности. Исходя из того предположения, что при таком построении хорд расстояние между ножками циркуля остается неизменным, мы можем утверждать, что полученные вписанные углы равны между собой. Каким образом разделить окружность так, чтобы эти углы были выражены целыми делениями, есть чисто технический вопрос, который нас в данном случае не интересует.

Для нас все дело сводится к тому, чтобы найти способ для определения и установления *равных расстояний* в круге цветовых тонов. Такой метод вытекает из понятия *о смешении* цветов.

Выше мы показали, что при помощи смешения цветов можно получить все цветовые тона, которые находятся между цветовыми тонами смешиваемых исходных цветов. Мы указали также, что цвет новой смеси

зависит от соотношения количества входящих в нее цветов, и что простейшее расположение получается тогда, когда расстояния между цветовым тоном смеси и цветовыми тонами составляющих ее компонентов берутся обратно пропорциональными количествам этих последних. Поэтому, когда смешиваем два цвета *в одинаковых* количествах, то получаемый в результате смешения цвет находится как раз *посредине*.

Таким образом, мы нашли тот масштаб, которым можно измерять окружность. Мы выбираем произвольно два любых цвета a и b, достаточно близко отстоящие друг от друга, и ставим себе задачей найти все другие цвета, которые были бы удалены друг от друга на расстояние a—b. При этом получаются равные вписанные углы.

На практике это достигается тем, что мы находим третий цвет c, который в смеси с равным количеством a дает как раз цвет b. Тогда b находится в середине между a и c, т.-е. расстояние a—b=b—c. Теперь ищем четвертую краску d, которая в смеси с таким же количеством b дает цвет c. Тогда b—c=c—d, откуда a—b=c—d. Таким образом, мы отложили уже три одинаковых расстояния. Пятый цвет e, который в смеси с равным количеством c дает d, находится также на одинаковом расстоянии от d. Так можно продолжать дальше, пока не будет разделена вся окружность. И здесь нахождение отрезка, который уложился бы в окружности целое число раз, есть уже задача второстепенная и для ее разрешения существует много путей.

Мы называем основное правило, которому подчиняется вся эта операция *принципом внутренней симметрии*. Он дает возможность рационального и однозначного деления цветового круга. Конечно, здесь мы допустили одну предпосылку, которая сейчас должна быть высказана, чтобы облегчить осуществление нашей идеи. Для того, чтобы найти середину, мы должны были смешивать *равные* количества цветов. Каким же образом можно найти такие равные количества?

Очевидно, что здесь не может быть речи о равных весовых количествах различных красителей, так как их влиятельность, как известно, может быть очень различной. Скорее всего равенство должно быть оптическим или психологическим. Если вспомним, что каждый реальный цвет состоит из доли полного цвета (Vollfarbe), белого и черного, то наше требование сведется к тому, чтобы смешивать или чистые полные цвета, или такие, которые содержат одинаковые количества чистых цветов или, наконец, мы должны брать количества обратно-пропорциональные содержанию в них полного цвета. Только тогда можно будет достичь в смеси правильной середины.

Выполнимость деления по принципу внутренней симметрии зависит от того, можно ли измерить долю полного цвета, содержащуюся в данном цвете (как, напр., цвете упоминавшихся выше окрашенных бумажек).

Чистыми полными цветами, которые сделали бы излишними такого рода измерения, мы, к сожалению, не обладаем.

В дальнейшем будет указан путь, по которому можно дойти до таких измерений. Пока же мы примем на веру, что эти измерения проделаны и круг цветовых тонов, благодаря этому, окончательно построен.

Дополнительные цвета. Правильность деления круга была бы доказана, если бы каждые две точки, находящиеся на окружности и расположенные друг против друга, обозначали бы дополнительные цвета. Приведенное нами деление цветового круга выдержало эту проверку полностью.

Определение дополнительного цвета уже изложено выше. Дополнительный цвет—это есть такой цвет, который в оптической смеси с данным дает нейтральный серый цвет. Такие пары цветов определены только

в отношении цветового тона, но не в отношении содержания в них белого и черного. Ибо, каковы бы ни были количества этих ахроматических цветов, которые могут иметься налицо или отсутствовать, они не могут превратить нейтральную серую смесь в хроматический цвет.

В общем, два хроматических цвета при смешении дают третий,— промежуточный между ними цвет, с некоторой примесью серого. Количество серого тем больше, чем дальше два данные цвета отстоят друг от друга по цветовому кругу. В том же случае, когда они диаметрально противоположны, смесь их дает только серый цвет, если цвета взяты в одинаковых количествах. При неравных же количествах получается некоторая смесь серого с превалирующим хроматическим цветом. Если мы примешиваем, например, к ультрамариновой синей все увеличивающиеся количества желтого цвета, то ультрамариновая синяя становится вначале более серой или мутной, не изменяя своего цветового тона, а затем переходит в чисто серую. При дальнейшем же прибавлении желтого цвета она становится серо-желтой и в конце концов, при нулевом количестве ультрамариновой синей, переходит в чисто желтый цвет.

То же самое верно и относительно всякой другой пары дополнительных цветов.

Весь круг цветовых тонов построен таким образом, что какой бы диаметр мы ни взяли, два конца его всегда будут лежать на цветах дополнительных.

При проверке, ни один из прежде существовавших цветовых кругов не удовлетворяет этому условию, хотя бы это им и приписывали. Желтый в смеси с фиолетовым дает красный, хроматический дают и оранжевый с синим. Красный и лиственная зелень дают желто-коричневый. Все это заставляет критически относиться к научному мышлению сторонников подобных цветовых кругов, в течение целого столетия придерживающихся взглядов, которые можно самым простейшим способом опровергнуть экспериментально. Ведь еще *Шопенгауэр* доказал на основании наблюдения над последовательными образами, что дополнительным цветом для цвета лиственной зелени является не красный цвет, а пурпурный.

Нормирование круга цветовых тонов. Аналогично тому, что имело место и в непрерывном ахроматическом ряде, здесь, неопределенность числа тонов представляет безусловное затруднение для рационального овладения цветовым кругом. Мы должны здесь, как и там, установить небольшое количество равноотстоящих друг от друга пунктов. Эти пункты могут и должны служить такими же ***нормами***, как нормы a c e g i l n p. . . . ахроматического ряда.

И здесь нам следует придерживаться десятичной системы. Так как десять норм цветовых тонов было бы для этого слишком малым числом, то мы берем *сто* норм. Это—вполне достаточное количество, так как оно близко уже подходит к величине порога, позволяющей нам различать не больше чем, приблизительно, 400 различных цветовых тонов. Поэтому мы и разбиваем цветовой круг на сто делений.

На вопрос о том, должны ли мы эти точки расположить согласно закону Фехнера, следует ответить отрицательно. Мы не можем применить в данном случае закон Фехнера, так как здесь нам не даны отношения между различными ступенями одного и того же раздражения и ощущением, но мы имеем здесь дело *с качественно* различными раздражениями, которые располагаются в непрерывный ряд, а не однородными раздражениями, которые только количественно разнятся друг от друга. Психофизическая сторона явления уже нашла свое выражение в процессе смешения, дающем нам возможность представить в виде равных отрезков равноощутимые различия. Найденное нами деление мы можем считать вполне

законченным, следовательно, еще и потому, что оно не должно сообразоваться с законом Фехнера, как это имело место в сером ряде.

Существует количественное доказательство правильности найденного деления круга, основанного на принципе внутренней симметрии. Оно заключается в том, что расстояния между найденными ста цветовыми тонами все одинаково удалены от порога чувствительности, как то и было упомянуто нами выше. Числовые значения порога различения цветовых тонов уже давно измерены в спектре *Кенигом* и *Дитеричи*, которые нашли для величины порога различения цветовых тонов очень неожиданный ход кривой с максимумами и минимумами. Если мы передвинем в спектре длины волн таким образом, чтобы всюду получалось ощущение одинаковой разницы, то величины соответствующих отрезков и совпадут вполне с условиями нашего рационально построенного круга цветовых тонов. Конечно, это относится лишь к той части цветового круга, которая у него совпадает с спектральным кругом. В области пурпура *Кёниг* и *Дитеричи* не могли, ведь, производить своих измерений.

Таким образом, и был изготовлен из наиболее чистых красок применяемый мною сточленный круг. Для установления цифровых величин я начал с указанного раньше желтого, который является средним между зеленоватым и красноватым, и может быть принят за чисто-желтый цвет. Твердые краски: желтая *Сириуса* (Siriusgelb) и хромовостронциевая (Strontiumchromat) соль вполне определяют эту точку. Эта точка принимается за нулевую и имеет обозначение 00. Отсюда цифровое обозначение идет дальше, через оранжевый, красный и фиолетовый к ультрамариновому синему, который диаметрально противоположен исходному желтому и потому обозначается числом 50. Ультрамарин приближается к этому цвету; киновари соответствует номер 25. Всю вторую половину круга цветовых тонов наполняют синие и зеленые цвета, а именно: ультрамариновый синий, ледяной синий, морской зеленый, лиственный зеленый. Последний оттенок лиственной зелени, с обозначением 99, примыкает к первому—желтому, обозначенному 00.

Более старые конструкции цветового круга. Если мы сравним этот рационально разделенный круг цветов с кругами бывшими до сих пор и построенными просто на-глаз, то заметим большую разницу между ними в том смысле, что в прежних кругах синий, ледяной синий и зеленый расположены слишком близко друг к другу, а цвета желтый, оранжевый, красный и фиолетовый занимают гораздо большее пространство. Причина несовершенной уясненности области синих и зеленых цветов коренится в старом ложном представлении о трех первичных цветах (желтом, красном и синем), которые «само собой разумеется» должны были быть расположены по кругу, на одинаковом друг от друга расстоянии в 120°. В правильном круге цветов желтый и ультрамариновый синий диаметрально противоположны друг другу, и вся вторая половина круга предоставлена, поэтому, синему и зеленым цветам. Такой круг, конечно, сперва удивляет тех, кто привык лишь к старому кругу цветов.

Но и помимо этого исторического влияния широкое развитие областей синего и зеленого является неожиданностью. На одной большой ковровой фабрике я видел лоскут, в котором красильным мастером были включены все чистые тона цветового круга. Ледяной синий и морской зеленый были, однако, совершенно сжаты и не развиты. То же самое можно сказать и по поводу широко распространенного круга цветов, выполненного на шелку, и выпущенного одной из больших фабрик анилиновых красок. Подобные факты показывают, что эта область цвета до сих пор действительно мало изучена и не пользовалась достаточным вниманием. Об'яснение можно найти в том, что ледяной синий и морской зеленый

очень редко встречаются в природе. Ледяной синий цвет можно наблюдать в трещинах глетчера. Но много ли найдется людей, которые видели трещины глетчера? Синевато-зеленый (я называю его морским зеленым) можно видеть в озерах, дно которых состоит из известняка; все остальные моря и озера имеют коричневатую воду. А много ли на земле озер с известковым дном? Среди цветов растений мы не встречаем этих оттенков, так как тона их окраски начинаются с 00 и идут до 58,—последний ультрамариновый синий. Зеленый же цвет листвы начинается только у 88. Вся средняя область, а именно—ледяной синий и морской зеленый —нам обычно в обиходе не даются. Бабочки и птицы, которых мы можем наблюдать, очень редко имеют в своей окраске эти цвета. Они свойственны, положим, зимородку. Но всякому ли случалось видеть зимородка?

Здесь же можно отметить то удивительное обстоятельство, что и в бесконечном количестве искусственных красок эта область (между 58 и 88) очень слабо представлена. Чисто-ледяной синий цвет мы встречаем почти исключительно среди красящих веществ класса патентованной синей (Patentblau). В то время, как в области «теплых» цветов мы имеем богатый выбор чистых и прочных к свету красителей, область сине-зеленых цветов представляет в этом отношении много пробелов.

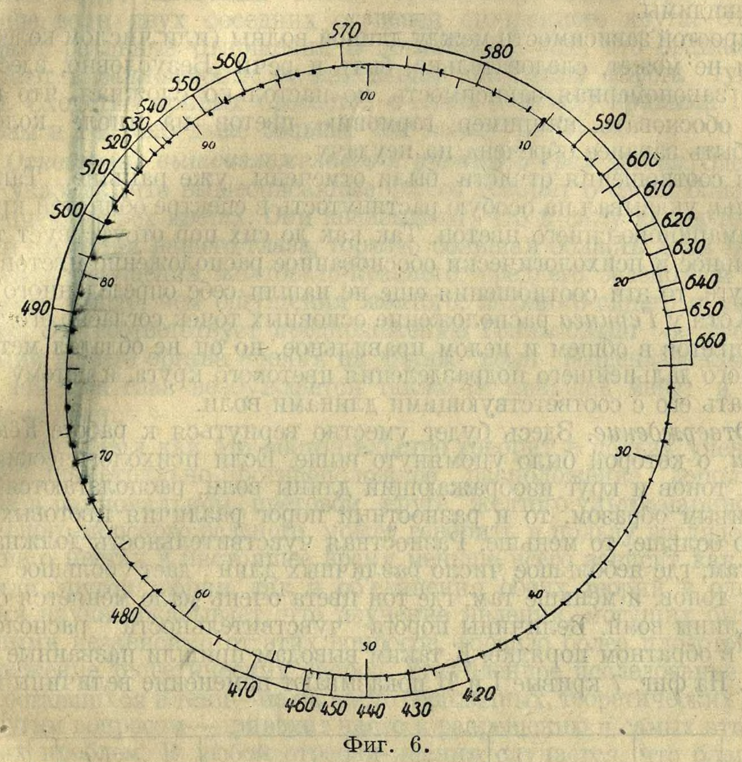
Даже сама мода, которая имеет обыкновение поднимать на ноги все, что только возможно, долгое время не заглядывала в этот уголок цветов. Это тем более удивительно, что цвета от 67 до 71 являются дополнительными к тонам кожи и волос, и с помощью их можно было бы получить особенно явно выраженные гармонии цветов. Только в последнее время, как-то внезапно, появились эти краски. Надеюсь никто не возбранит мне видеть в этом один из первых практических результатов нарождающейся науки о цветах, которая обратила внимание на пробелы именно в этой области цветов.

Цвета и длины волн. Практическое осуществление деления цветового круга по тому способу, основания которого выше были изложены, есть очень трудная и кропотливая работа, благодаря обилию необходимых измерений прежде всего, чистоты тона, затем цветов-смесей и т. д. Имело бы, поэтому, большой смысл приготовить окончательный цветовой круг в такой форме, которая его увековечила бы. Изготовление цветных образцов или установление рецептуры для их накрашивания не дало бы желательных результатов. Сами образцы меняют свой цвет с течением времени. Покупные же красители, которые указываются в рецептуре, есть уже сами по себе, в большинстве случаев, смеси, которые индивидуально могут быть и не совсем одинаковыми. Наилучшим исходом было бы— связать круг цветовых тонов с цветами спектра. Если бы к каждому цвету спектра, который определяется числом колебаний или длиною световых волн, мы приписали бы соответствующее ему в цветовом круге (разделенном на 100) число, то для закрепления наших делений цветового круга навсегда, не было бы нужды в сохранении образцов. Правда, установленная *Гельмгольцем* зависимость цветового тона от силы света, проявляющаяся особенно сильно в концах спектра, будет нам здесь мешать, равно как будет мешать и имеющееся отсутствие в спектре пурпурных цветов. Однако, можно, по необходимости, заполнить этот пробел цветами дополнительными, к имеющимся в спектре.

Ниже нами будет изложен и другой путь установления связи между нашим цветовым кругом и спектром, путь, свободный от имеющихся здесь недостатков (см. учение о цветовом полукруге).

Результаты этих измерений, над которыми, вместе со мной работали и другие исследователи, наглядным образом представлены на фиг. 6. Внутренний круг разбит на сто равных делений рационально составленного

цветового круга. На наружном нанесены длины волн в миллионных долях миллиметра, соответствующие обозначенным внутри круга цветовым тонам.



Фиг. 6.

Если начнем с 1-го желтого, с обозначением 00, то соответствующая ему длина волны будет 572. До начала оранжевого у 13 длина волн очень удалена друг от друга. Другими словами: в узкую область между 572 и 592 втиснуты 13 цветовых тонов, начиная с самого светлого серно-желтого и кончая оранжевым. В действительности, с помощью спектроскопа, мы можем видеть, что желтые цвета занимают в спектре особенно узкое пространство. Наоборот, оранжевым цветам (до киновари 25) соответствует большая область разной длины волн, а именно—от 592 до 670,—конца видимого спектра. Соответственно этому мы и видим в спектре широкую полосу желто-красного и красного.

Дальше следуют цвета пурпурные, которые в спектре отсутствуют. У 45, синевато-фиолетового, начинаются цвета спектра с самыми короткими волнами, которые проявляют опять большую густоту различных длин волн на протяжении узкого участка между крайним фиолетовым и первым ультрамариново-синим, сообразно большому протяжению фиолетового и ультрамаринового цветов в спектре. На долю ледяного синего и морского зеленого приходится всего лишь немного различных длин волн (от 475 до 500), поэтому в спектре эти цвета занимают лишь узкую полосу. Зато лиственному зеленому и части морского зеленого соответствует опять большое количество волн различной длины. Пределы их—от 500 до 572, где последняя, уже достаточно желтая часть, непосредственно переходит в начало желтого цвета.

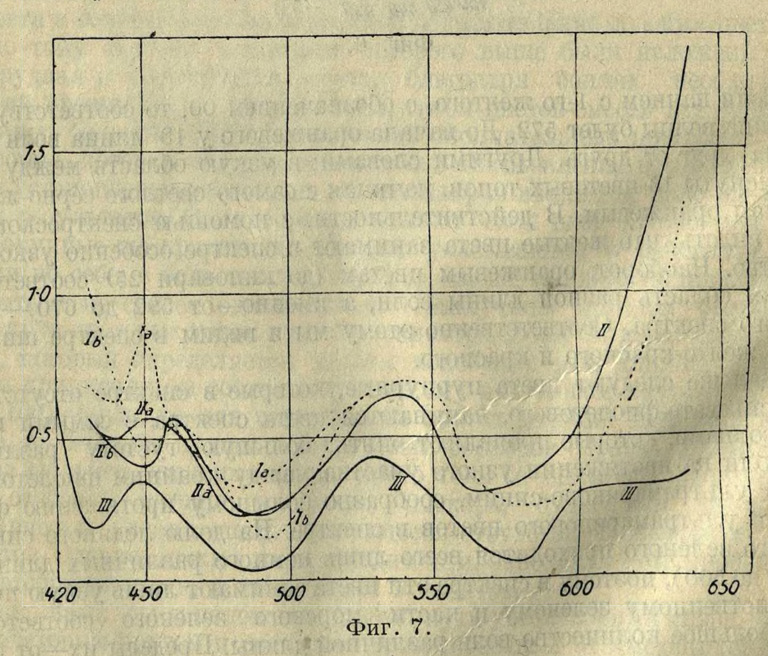
Все эти многообразия цветов более ярко выступают в дифракционном спектре, чем в сжатом с красного конца призматическом спектре.

Если диффракционный спектр не очень растянут, то в нем видны бывают только три области: глубоко-красная, средне-зеленая и ультрамариново-синяя. Промежуточные же области—желтая и ледяной синий цвет—почти невидимы.

О простой зависимости между длиной волны (или числом колебаний) и цветом не может, следовательно, быть и речи. Безусловно, здесь есть какая-то закономерная зависимость, но настолько сложная, что всякая попытка обосновать, например, гармонию цветов на числе колебаний должна быть заранее обречена на неудачу.

Эти соотношения отчасти были отмечены уже раньше. Так, еще *Гельмгольц* указывал на особую растянутость в спектре областей красного и ультрамариново-синего цветов. Так как до сих пор отсутствует точное, рациональное и психологически обоснованное расположение цветов в цветовом круге, то эти соотношения еще не нашли себе определенного выражения. Хотя у *Геринга* расположение основных точек согласно его теории четырех цветов в общем и целом правильное, но он не обладал методами для точного дальнейшего подразделения цветового круга, и потому не сумел связать его с соответствующими длинами волн.

Подтверждение. Здесь будет уместно вернуться к работе *Кёнига* и *Дитеричи,* о которой было упомянуто выше. Если психологический круг цветовых тонов и круг изображающий длины волн, располагаются таким причудливым образом, то и разностный порог различия цветовых тонов бывает то больше, то меньше. Разностная чувствительность должна быть больше там, где небольшое число различных длин дает большое число цветовых тонов, и меньше там, где тон цвета очень мало меняется с изменением длины волн. Величины порога чувствительности расположены, конечно, в обратном порядке. К таким выводам пришли названные исследователи. На фиг. 7 кривые I и II показывают изменение величины порога



Фиг. 7.

чувствительности (вероятная ошибка установки, выраженная в длинах волн) в зависимости от длины волны: разные кривые принадлежат различным исследователям и относятся к разным силам света. Кривая III

изображает содержание фиг. 6 или расположение длины волн в рациональном круге цветовых тонов. Ординатами здесь служат различия в длине волн двух соседних ступеней сточленного круга. Эти кривые передают реальные отношения и показывают нам, что ординаты растут и падают в зависимости от изменения величины порога чувствительности. Сходство кривых бросается в глаза и между кривыми III с одной стороны и I-й, оно даже больше, чем между I и II-ой.

Отношение вышеизложенного к учению о трех цветах. Здесь необходимо указать, что вышеописанные факты говорят о своей близкой связи с учением о трех цветах. Они показывают, что в силу каких-то особенностей в строении нашего глаза, гораздо большая область длин волн может вызывать ощущения желтовато-красного, среднего зеленого и ультрамаринового синего, чем ощущения желтого, ледяного-синего и морского зеленого. Это соответствует предположению *Гельмгольца* о тройственной реакции нашего органа зрения на длины волн вышеназванных цветов, при чем наш глаз возбуждается также (в меньшей мере) и соседними длинами волн.

В то время как это обстоятельство говорит в пользу учения *Гельмгольца,* диаметрально-противоположное расположение дополнительных цветов в рациональном цветовом круге, желтого-ультрамариново синего и красного-морского зеленого может говорить в пользу взглядов *Геринга.* Учение о цветах в настоящее время меньше всего зависит как от выбора той или другой теории, так и об'единения обеих теорий в одну. Современная наука доказывает, что изучение явлений, могущих быть установленными независимо от этих вопросов, гораздо более плодотворно, чем продолжение теоретических споров. Углубленное исследование соотношений, оставшихся в тени—из-за часто бесплодных, теоретических дискуссий по другим вопросам—приводит часто к разрешению и самых этих теоретических проблем. В любой отрасли знания случается, что благодаря появлению той или иной гипотезы, которую в настоящий момент нельзя ни опровергнуть, ни подтвердить, данная наука не прогрессирует, а, наоборот, задерживается в своем развитии, хотя единственное назначение всякой гипотезы—облегчить и сделать плодотворным научное исследование.

Нормы цветовых тонов. Уже несколько раз было указано, что при рассмотрении непрерывного (или сточленного) круга цветовых тонов непосредственно бросаются в глаза четыре первичных цвета: желтый, красный, ультрамариновый синий и морской зеленый, и восемь главных цветов: желтый, оранжевый, красный, фиолетовый, ультрамариновый синий, ледяной синий, морской синий и лиственный зеленый. Других цветов с первого взгляда мы не замечаем, кроме, пожалуй, пурпурного, который можно было бы поместить между красным и фиолетовым; главные цвета расположены по кругу на одинаковом расстоянии друг от друга.

Это явление стоит в некотором противоречии с делением круга на сто частей, которые мы вынуждены были принять благодаря десятичной системе. Здесь опять выступает тот неприятный факт, что, благодаря числу наших десяти пальцев, именно десять было избрано в качестве групповой единицы для всех чисел, вместо гораздо более удобного—двенадцати. В то время, как число десять имеет делителями (множителями) только числа 2 и 5, число двенадцать кратно 2, 3, 4 и 6. Мы горячо надеемся, что в отдаленном будущем, когда человечество будет более организованно и рационально, эта поправка будет сделана, пока же нам приходится обходиться по возможности хорошо тем, что есть.

Подходя ближе к вопросу о нормировании цветовых тонов, мы прежде всего видим, что никоим образом нельзя оставить без внимания естествен-

ное деление последних на восемь главных цветов. Всякая дальнейшая работа в этом направлении должна исходить из этого.

Но восемь цветовых тонов слишком мало. Скачки между ними будут чрезмерно велики. Число же сто, помимо того, что оно не делится на восемь, слишком велико для практических целей. Так как, имея в виду цветовые гармонии, мы не можем упускать из вида множитель 3, нам следует выбрать числа 24, 48, 72 и 96. Два последних числа слишком близки к 100, т.-е. слишком велики. Далее, и число 48 оказывается на практике слишком большим. Выбор, поэтому, падает на 24.

Это значит, что мы делим каждый из восьми основных цветов на три ступени. Для большего удобства, мы даем им обозначение первый, второй, третий желтый, оранжевый, красный и т. д. Число сто не делится на двадцать четыре без остатка, но получаемые при этом дробные числа можно заменить ближайшими целыми. Так как сточленное деление дает величины близкие к порожным, то дробные доли получающиеся здесь тоже почти не превосходят порога и, по крайней мере, практически, ими можно пренебречь, как незаметными. Таким путем, мы получаем следующую таблицу названий и номеров норм цветовых тонов:

	Первый	второй	третий
желтый	00	04	09
оранжевый	13	17	21
красный	25	29	33
фиолетовый	38	42	46
ультрамариновый синий .	50	54	58
ледяной синий	63	67	71
морской зеленый	75	79	83
лиственный зеленый . . .	88	92	96

Заметив, что каждый *второй* цветовой тон представляет собою среднюю величину области данного цвета, а каждый первый и третий приближается к соседнему тону, легко заучить наизусть все двадцать четыре нормы цветовых тонов. Так, первый красный уклоняется в сторону оранжевого: красная киноварь. Второй есть средний красный: карминово-красный цвет. Третий же приближается к фиолетовому: пурпур темно-красных роз. Первый ультрамариновый синий цвет имеет оттенок фиолетового: аммиачный раствор меди; третий ультрамариновый синий имеет уклон в сторону ледяного синего: синева чистого неба. Второй—имеет цвет светлого ультрамарина. Путем повторных рассматриваний 24 норм можно быстро приобрести способность определить тон любого цвета. Развить в себе такую способность до степени полной уверенности есть лучшее, что мы можем здесь сделать. Это есть предпосылка нашего овладения миром цветов.

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

Цветовые однотонные треугольники.

Общее. Для полного определения цвета необходимо знать не только его цветовой тон, но и содержание в нем белого и черного. Как произвести соответствующее измерение будет подробно указано в одной из следующих глав. Здесь же примем, что эта задача разрешена, и изучим все разнообразие цветов, которое здесь получается.

Состав любого цвета можно выразить следующим уравнением:

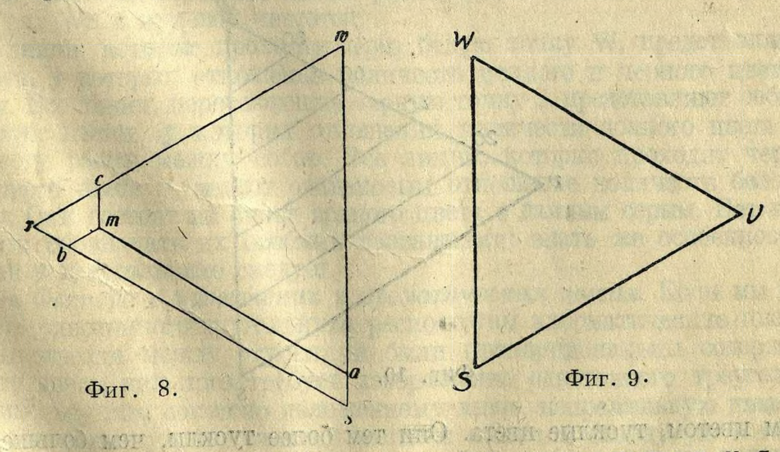
$$V+W+S=1$$

где V количество полного цвета, W количество белого цвета и S количество черного цвета. Уравнение само по себе есть выражение того, установленного *Максвэллом* факта (см. выше), что все уравнения смесей цветов—линейны или первой степени. Сам *Максвэлл*, хотя он и много трудился над выяснением законов цветовых смесей, все-таки не нашел этого простого уравнения. Стоит только прочесть его трактат и убедиться, с какими усилиями он стремился выработать понятия, касающиеся мира цветов, чтобы почувствовать, какое облегчение было мне принесено в свое время открытием этого простого уравнения. Его можно сравнить с простым уравнением закона Ома, без которого немыслима была бы ни современная электротехника, ни научное представление об электричестве.

Для задачи, которая находится перед нами, уравнение выражает собой следующее. В каждом данном цвете (любого цветового тона) можно любую долю его заменить белым или черным или обоими этими цветами вместе. Так как для трех переменных возможно только одно уравнение, то две из этих величин могут быть установлены произвольно,—третья тем самым уже определяется. Каждая из этих величин может изменяться между нулем и единицей. Сумма их всегда равна единице. Отрицательные величины не встречаются, так как им ничего не соответствовало бы в реальности. Речь идет, поэтому, о конечной группе двух измерений.

Можно спросить, что означает единица в уравнении $v+w+s=1$? Она обозначает, что каждый цвет представляет собой ограниченную величину и имеет свое мерило в себе самом. Мне известна еще одна такая же величина, а именно—угол. Единицей его и мерилом является полный угол, т.-е. сумма четырех прямых углов. Сумма всех углов W_1, W_2, W_3, . . . вокруг одной точки может быть выражена подобным же уравнением $W_1 + W_2 + W_3 + \ldots = 1$. Существует, однако, большая разница, а именно та, что у цветов мы имеем три разнородные части V, W и S, у углов же они однородны и число их произвольно.

Треугольник. Все уравнения вида $x+y+z=k$ могут быть выражены суммой всех точек равностороннего треугольника со стороной k. Если проведем из любой точки m в треугольнике три линии ma, mb, mc, три линии параллельные сторонам треугольника, то сумма их всегда будет равна стороне треугольника: $ma+mb+mc=k$.



Фиг. 8. Фиг. 9.

Если примем эти отрезки за характеристику величин x, y, z, то все точки треугольника представляют собой всевозможные комбинации величин x, y, z.

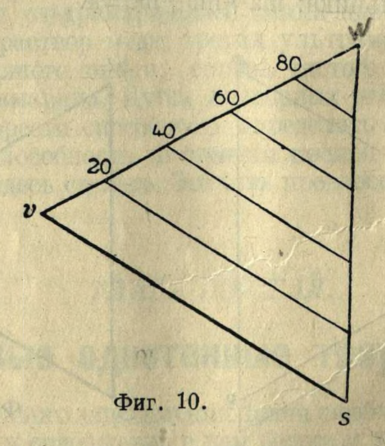
Если начертим треугольник со стороной, равной 1, и обозначим линии ma, mb, mc через V, W, S, то предыдущее уравнение примет вид: $V + W + S = 1$.

Это и есть уравнение цветов, выражающее собой все точки, лежащие внутри треугольника, т.-е. все мыслимые возможные соотношения для смесей из данного полного цвета, белого и черного. Треугольник является, следовательно, полным выражением всех производных, какие только можно получить от смешения данного полного цвета с белым и черным.

Чтобы лучше уяснить себе это, необходимо ознакомиться ближе с *однотонным цветовым треугольником* (фиг. 9).

Сначала мы берем три идеальных цвета: чистый белый W, чистый черный S, и полный цвет V, помещающиеся в углах треугольника. На каждой из сторон треугольника помещаются все двойные смеси из каждой пары таких идеальных цветов. Сторона WS содержит ахроматический ряд со всеми серыми цветами, имеющимися между белым и черным. Сторона VW содержит все смеси белого с данным чистым цветом, какие только можно получить, прибавляя меняющиеся постепенно количества белого цвета к этому последнему. Мы эти смеси называем *светло-чистыми* (hellklaren) цветами. Сторона же VS представляет собой все смеси из данного же полного цвета с черным. Так как мы не обладаем чистыми черными красящими веществами, свободными от примесей белого цвета, то мы не можем получить такие цвета посредством накрашивания. В приближенном виде их можно наблюдать, если брать различные секторы возможно полного цвета и вращать их на диске для смешения цветов перед достаточно большим отверстием зачерненного внутри ящика (см. выше). Всякий, кто видел получающиеся в таком случае цвета, мог быть восхищен их красотой. Мы их называем *темно-чистыми* (dunkelklaren) цветами. Эти цвета можно видеть на старинных цветных стеклах церковных окон. Там черный цвет получается благодаря столетней пыли, лежащей на таких стеклах. Искусственно же можно их получить вкрапливая в сплав цветного стекла магнитную окись железа.

Внутри треугольника располагаются все те цвета, которые одновременно содержат белый и черный цвет, т.-е. все серые цвета. Мы называем их *тусклыми цветами* (trüben). Ближе к белому углу W расположены все *светло-тусклые* цвета, ближе к черному углу S все черноватые, *темно-тусклые* цвета, поблизости же к V находятся *глубокие*, богатые

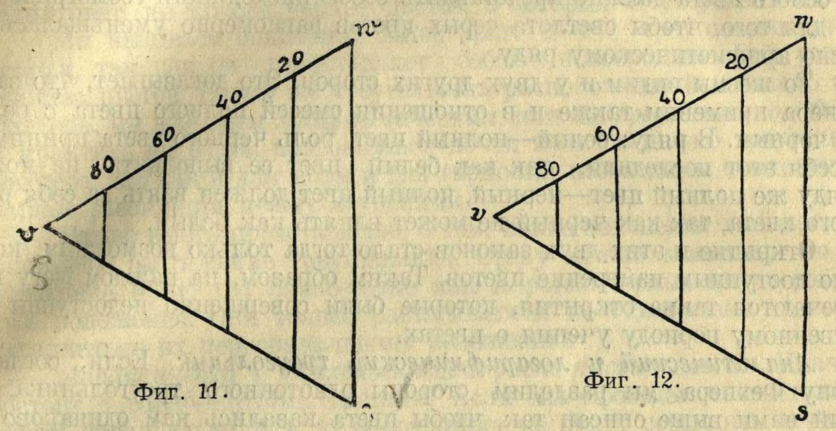


Фиг. 10.

полным цветом, тусклые цвета. Они тем более тусклы, чем больше приближаются к ахроматической стороне WS, и наиболее тусклы в середине ее.

Особые линии в треугольнике. Внутри треугольника имеется шесть групп особых линий. Три из них параллельны сторонам треугольника, а другие три идут от углов треугольника к противолежащим сторонам. Они имеют известное методическое значение.

Все те линии, которые параллельны стороне VS, противолежащей углу W (фиг. 10), представляют собой цвета с одинаковым содержанием *белого* цвета.



Фиг. 11. Фиг. 12.

Поэтому такие линии называются *равнобелыми.* Самой крайней равнобелой линией будет сторона VS темно-чистых цветов с нулевым содержанием белого.

Все линии, которые параллельны VW, противолежащей углу S, представляют собой цвета с одинаковым содержанием *черного* цвета (фиг. 11). Это *равно-черные* цвета. Крайняя равночерная линия есть сторона VW, представляющая собой светлочистый ряд с нулевым содержанием черного цвета.

Все линии, параллельные WS, противолежащей V (фиг. 12), представляют собой линии цветов с одинаковым содержанием полного цвета или линии цветов *одинаковой чистоты.* Лежащие на них цвета называются *равно-чистыми.* Крайняя линия равно-чистых цветов это—ахроматический ряд WS с нулевой чистотой.

Все линии, которые проходят через белую точку W, представляют собой цвета, у которых отношения количеств полного и черного цветов одинаковы. Все линии, пересекающие черную точку S, представляют собой линии таких цветов, у которых отношения количеств полного цвета к белому цвету равны между собою. Все линии, которые проходят через точку полного цвета V, имеют одинаковым отношение количеств белого к черному. Они состоят из смеси полного цвета с данным серым. Нет необходимости обозначать их особыми названиями; знать же особенности этих линий в треугольнике следует.

Закон Фехнера в применении к хроматическим цветам. Если мы на стороне WS однотонного тругольника расположим ахроматические цвета так, чтобы отрезки между ступенями были пропорциональны содержанию белого цвета, как того требует изображение однотонного треугольника, то мы получим, согласно изложенному выше, неправильную шкалу серых цветов, растянутую в светлой части и слишком стиснутую в темной. То же самое мы замечаем на обеих других сторонах треугольника, на VW и VS. Вдоль линии VW расположены, начиная от W, на довольно далеком расстоянии друг от друга бледные цвета, у которых еле заметен их

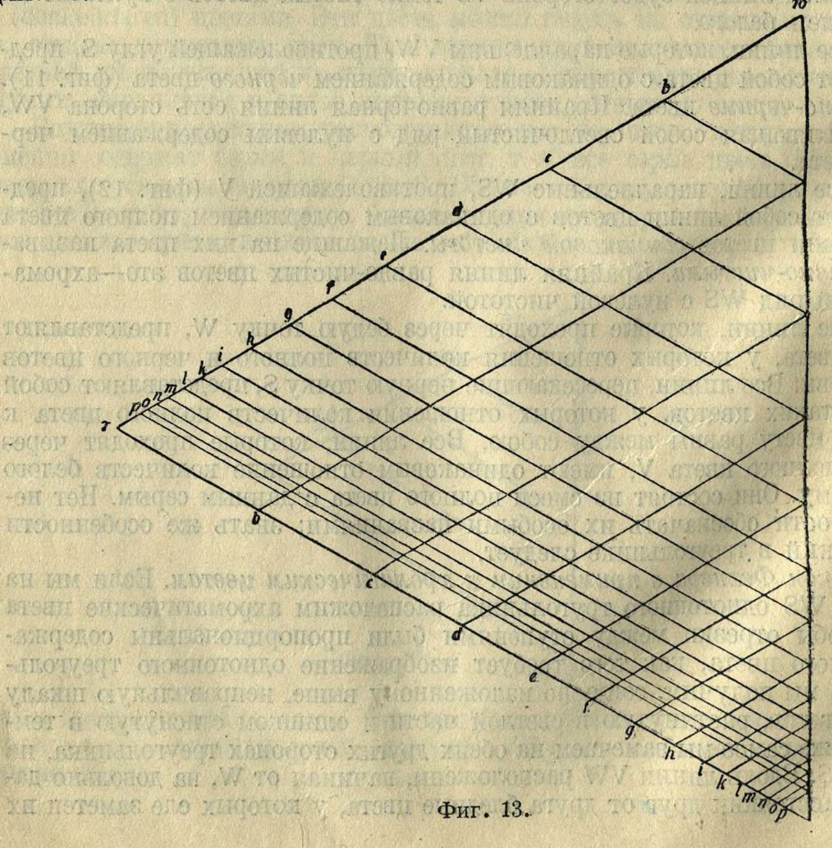
тон. Ближе к V мы видим более насыщенные цвета, которые очень притиснуты друг к другу. Что же касается цветов, расположенных по линии VS, то, начиная с точки V, цвет сначала совсем не меняется. Только во второй половине появляется черный цвет, и у точки S темные цвета уже близко расположены друг около друга.

Для стороны WS нам причина вышеописанного хорошо известна. Оно находит свое об'яснение в законе Фехнера, который гласит: содержание белого цвета должно представлять собою нисходящий геометрический ряд для того, чтобы светлота серых цветов равномерно уменьшалась согласно арифметическому ряду.

То же мы видим и у двух других сторон. Это доказывает, что закон Фехнера применим также и в отношении смесей полного цвета с белым или черным. В ряду: белый—полный цвет, роль черного цвета принимает на себя этот последний, так как белый цвет ее выполнять не может. В ряду же полный цвет—черный, полный цвет должен взять на себя роль белого цвета, так как черный не может влиять как белый.

Открытие и этих двух законов стало тогда только возможным, когда стало доступным измерение цветов. Таким образом, на каждом шагу нам встречаются такие открытия, которые были совершенно недоступны качественному периоду учения о цветах.

Аналитический и логарифмический треугольник. Если, согласно закону Фехнера, мы разделим стороны однотонного треугольника, который нами выше описан так, чтобы цвета казались нам одинаково отстоящими друг от друга, то мы получим расположение изображаемое фиг. 13.



Фиг. 13.

Тут возникает, однако, потребность расположить цвета в треугольнике таким образом, чтобы одинаковым расстояниям в пространстве соответствовали бы одинаковые и психологически расстояния. Для этого необходимо треугольник так растянуть (в нижней его части) вниз, чтобы отрезки (расстояния) bc, cd, de и т. д. выравнялись бы. Так как это логарифмическое деление теоретически ведет в бесконечность, то вся сторона VS со своими конечными точками V и S удаляется в бесконечность. Практически же этого не случается, так как мы совершенно не в состоянии приготовить ни краски чистых цветов, в которых отсутствовал бы белый цвет, ни краски черных цветов, в которых отсутствовал бы белый.

Мы называем описанный выше (фиг. 8—12) треугольник *аналитическим*, так как он представляет собою непосредственный результат анализа цветов. Новый же треугольник, расположенный согласно закону Фехнера, мы называем *логарифмическим*, или же *треугольником Фехнера*. В практике мы будем пользоваться почти исключительно треугольником Фехнера, так как и для норм и для гармонии необходимы психологически равные расстояния между ступенями.

Важно иметь представление о том, какие изменения вызывает вышеописанное растяжение треугольника. Сразу можно заметить, что в треугольнике (фиг. 13) равно-белые как и равно-черные цвета сохраняют свое положение. Они только растягиваются на одинаковые расстояния параллельно их первоначальному положению.

Аналитически и психологически равно-чистые цвета. Иначе дело обстоит с равно-чистыми цветами. Если мы проведем соответствующие линии параллельно WS, то такие линии не будут соединять точек пересечения линий цветов равно-белых или равно-черных, как это имело место в аналитическом треугольнике, а пойдут беспорядочно через косоугольники, составленные линиями тех и других. Если же соединим соответственные точки пересечения этих линий (углы ромбов), то получим ряд линий, которые в аналитическом треугольнике сходятся к углу S.

При превращении аналитического треугольника в логарифмический, отрезки равно-белых и равно-черных цветов становятся одинаковыми, а соответственные угловые точки ромбов находятся на прямых линиях, параллельных WS. Это и должно быть, раз точка S удаляется в бесконечность, а линии, стремящиеся к бесконечно удаленной точке, параллельны между собой.

Линии, которые таким образом находятся в логарифмическом треугольнике на месте равно-чистых цветов, уже давно известны. Они характеризуется тем, что их цвета имеют постоянным отношение доли полного цвета к белому, при чем содержание черного цвета возрастает от нуля (в VW) до единицы,—в точке S; остальное же дается полным цветом и белым.

Цвета, составные моменты которых находятся в таком отношении, постоянно встречаются в природе. Это те цвета, которые даются каждым равномерно выкрашенным предметом, различные места которого освещены с различной яркостью. Независимо от количества падающего света, определенная часть полного цвета и определенная часть белого при этом отражаются. То, что не отражается, а поглощается, есть доля черного. Разные цвета предметов мы всегда соотносим с общим освещением, в связи с чем мы и оцениваем долю черного в цвете. Там, где мало света, а потому мало отражается белого и полного цветов, мы весь большой остаток воспринимаем как черное,—это и есть тень. Чем больше падает света на данную поверхность, тем меньшей становится эта черная часть, белый и полный цвета (в постоянном отношении друг к другу) преобладают.

В наиболее благоприятном случае черное пропадает вовсе и остается только светло-чистый цвет, находящийся в треугольнике на стороне VW.

Линии, которые в аналитическом треугольнике пересекаются в черной точке S, в логарифмическом же треугольнике имеют направление, параллельное стороне WS, дают ряды *затененности* цветов. (Schattenreihen, т.-е. ряды таких цветов, которые получаются от затенения или просветления) какого-либо данного цвета. Как их можно просто экспериментально приготовлять, мы уже знаем: ряды цветов, которые получаются при вышеописанном опыте *Геринга*, суть ряды затененности цветов.

Замечательно, что эти ряды, которые в логарифмическом треугольнике геометрически занимают место равно-чистых цветов аналитического треугольника, фактически являются *психологически равно-чистыми* цветами. Аналитически равно-чистые цвета менее всего кажутся одинаково чистыми, но выглядят тем бесцветнее, чем больше в них имеется белого, и тем более цветными, чем больше белое замещается черным. Это также соответствует закону Фехнера, согласно которому хроматический цвет, как и черный, исчезает в белом. Необходимо много черного для того, чтобы белый цвет нам казался серым, равно как необходимо много полного цвета для того, чтобы соответствующий ему тон стал заметным в белом, к коему мы наш цвет подмешиваем. Ряды затененных цветов кажутся, наоборот, одинаково чистыми, так как нам известно, что это есть «тот же» цвет, только более или менее затененный; мы заранее предполагаем, следовательно, одинаковую чистоту цвета и стремимся сочетать это с рядом затененности цвета.

Нормирование однотонных цветов. Ряды цветов в однотонных треугольниках также непрерывны, как и все естественные ряды цветов вообще. Для установления норм, они должны быть разделены на психологически равно великие области, средние величины которых и служат нормами так, как это имело место и в ахроматическом ряде.

Согласно закону Фехнера, в логарифмическом треугольнике это деление дает ромбы одинаковой величины, которые ограничиваются одинаково отстоящими друг от друга рядами бело- и черно-равных цветов. В согласии с общим законом нормирования недопустимо, чтобы на стороне ахроматических цветов треугольника производилось бы какое-нибудь иное деление, чем то, которое было уже применено для этого серого ряда самого по себе. Его необходимо, следовательно, перенести и сюда и, как это мы уже сделали в фиг. 13, от установленных точек надо провести вышеупомянутые параллельные линии. Треугольник таким образом делится на соответственное число ромбов.

Число этих ромбов неопределенно. Оно зависит от того, насколько далеко можно и желательно итти в область цветов с очень малым содержанием белого. На бумаге при крашении и печатании дальше ступени p не пойдешь. Шерсть, шелк и, в особенности, искусственный шелк позволяют приготовить более глубокие окраски, до t, а иногда и дальше. В дальнейшем мы будем заканчивать ряд ступенью p. Мы подчеркиваем здесь раз навсегда, что, строго говоря, любой ряд можно продолжать и дальше, и только из практических целей и ради краткости мы будем продолжать их только до p. Таким образом, мы получаем в каждом однотонном треугольнике практической шкалы a c e g i l n p тридцать шесть полей с различными цветами. Из этих 36 полей 8 ахроматичны и образуют вертикальную сторону треугольника, в то время как остальные 28 образуют хроматические ромбы.

Обозначения цветов. В расположенном таким образом треугольнике линии равно-белых идут параллельно нижней стороне, линии же равно-черных параллельно верхней стороне. Каждое поле принадлежит одно-

временно равно-белому и равно-черному рядам, которые пересекаются в этом поле.

Вспомним теперь, что буквы a c e g i l n p должны обозначать как содержание белого в соответствующих серых цветах, так и содержание черного. Кроме того, мы только что констатировали, что нормам цветов треугольника надлежит дать те же количества белого и черного, что и нормам ахроматической шкалы. Отсюда является возможность, даже необходимость, обозначить их теми же буквами. Поэтому, обозначим все цвета нижнего ряда равно-белых цветов с содержанием белого p буквой p, следующий ряд обозначим буквой *n* и т. д. На ахроматической стороне треугольника каждая из этих линий заканчивается серым соответствующей буквы.

Также все цвета линий равно-черных цветов мы должны обозначить буквой, соответствующей количеству в них черного. Верхняя линия равно-черных обозначена буквой a, следующая буквой c и т. д.

Так как каждый ромб принадлежит одновременно как линии равно-белых, так и линии равно-черных, то каждый нормированный цвет надо обозначать *двумя* буквами: одной характеризующей подмесь белого, другой — характеризующей подмесь черного.

Для ахроматического ряда отдельное обозначение того и другого было излишним, так как доли белого и черного связаны здесь между собой уравнением $W + S = 1$. Если нам дано количество белого цвета, то этим самым мы уже определяем и черный: $S = 1 - W$. В целях однородности мы обозначаем все же иногда и здесь оба цвета. Они должны тогда быть обозначены одними и теми же буквами, как, напр., ee или nn.

У хроматических цветов, наоборот, обе буквы должны быть различны. Так как уравнение хроматических цветов есть: $W+SV=1$, то $W+S$ всегда будут меньше единицы, раз V должно иметь некоторую конечную величину (это вытекает из определения хроматического цвета). Отсюда следует, что буквы обозначающие содержание черного и белого не могут быть одинаковыми, в противном случае мы в сумме их имели бы уже 1, а чистый цвет вовсе отсутствовал. Буква, которой обозначается подмесь черного цвета, должна быть всегда меньше, чем та, которой мы обозначаем подмесь белого цвета, т.-е. она должна стоять раньше по алфавиту, так как остаток остающийся после вычета из единицы количества, соответствующего белому, должен заключать в себе и долю полного цвета и черный цвет. Благодаря такой закономерности всегда легко узнать, какая из букв при обозначении какого-нибудь тусклого нормированного цвета обозначает подмесь белого и какая подмесь черного.

Чтобы исключить всякую задержку в понимании обозначения нужно взять за правило букву, которая означает подмесь белого, всегда ставить впереди. Поэтому, при обозначении цветов буквы стоят в порядке обратном тому, какой имеется в алфавите.

Знак ng означает: столько белого (5,6%), сколько в сером n, и столько черного (48%), сколько в сером g. Обратный знак gn не имел бы никакого смысла, так как требовал бы столько же белого, сколько в g и столько же черного, сколько в n. Количество же g черного и количество g белого дают уже в сумме единицу; еще же большее количество черного n даст сумму больше единицы, что противоречит смыслу нашего основного уравнения.

Теперь легко понять, каким образом можно точно обозначить все цвета однотонного треугольника. Раньше всего обозначают номер цветового тона (от 00 до 99), для которого построен данный треугольник, и добавляют к этому номеру две буквы, обозначающие подмеси белого и черного.

Таким образом, 29 lg означает второй красный цвет с очень малым содержанием белого l (темно-серое l выглядит почти черным) и заметным содержанием черного g (серое g есть светлое средне-серое), т.-е. достаточно темный, несколько тусклый, средний красный цвет.

Подобные обозначения цветов имеют громадное значение. Они дают возможность обозначать наикратчайшим образом, какой только можно себе представить, все нормированные цвета вполне определенно и недвусмысленно, подобно тому, как музыкальные ноты точно означают высоту тона. Они конечно более сложны, чем ноты, так как шкала высоты тонов образует только одномерную группу, в то время как цвета зависят от трех переменных. Потому и необходимо для обозначения какого-нибудь хроматического цвета три знака: один—для определения цветового тона, второй—для указания количества подмеси белого и третий—для указания подмеси черного.

Предпринять здесь какое бы то ни было упрощение невозможно. Для членов ахроматического ряда, представляющего собой одномерное многообразие, как и высота звуковых тонов, достаточно одного знака—одной буквой. Фиг. 14 изображает таким путем построенный однотонный треугольник; в составляющих его ромбах буквы обозначают соответствующие количества подмесей черного и белого. Так как этим треугольником приходится часто пользоваться, то он дан в виде приложения на особом, вкладном листе.

Ряды затененности цветов и ступени чистоты. Цвета, расположенные параллельно сторонам треугольника VS и VW, а именно равно-белые и равно-черные, очень легко заметны по обозначению своему, благодаря тому, что одна из букв—первая или вторая—остается постоянной. Третья группа идет параллельно стороне WS. Это ряды затененности цветов (Schattenreihen), или ряды психологически одинаково-чистых цветов, наиболее всем знакомые, а потому и самые важные.

Обе буквы в их обозначении меняются, сохраняя, однако, между собою одинаковый промежуток. Таким образом, с ахроматическим рядом от a до p сначала граничит ряд затененности ca ec ge ig li nl pn; в нем между обозначающими буквами заключены две ступени. Затем следует ряд ea gc ie lg ni pl, с вдвое большими ступенями и так дальше. Так как расчеты этих отношений требуют много времени, то следует всегда иметь фиг. 14, перед собою. Таким образом, уясняешь себе и все другие соотношения, которые имеются в однотонном треугольнике.

Если посмотреть на ряды затененности цветов, нанесенные в треугольнике, то можно с большой ясностью заметить, что чистота цветов с каждым рядом увеличивается, достигая максимальной величины по мере приближения к полному цвету (цвету V). Полезно отметить эти ряды ступеней чистоты особо. Для этого пользуются римскими цифрами. Серый ряд обозначается цифрой 0, так как он совершенно не содержит хроматической подмеси. Ряду ca ec ge и т. д. даем знак чистоты II, так как между ним и серым рядом поместился бы еще ряд ba cb dc ed и т. д., если бы мы не пропускали каждую вторую букву. Для того, чтобы не препятствовать в будущем введению и таких добавочных промежуточных ступеней мы оставляем для них ряды чистоты, обозначаемые I, III и т. д. Затем следуют ряды затененности, начинающиеся с ea ga ia и т. д. и обозначаемые посредством IV, VI, VIII и т, д.

Всего мы имеем, таким образом, ряды:

II	IV	VI	VIII	X	XII	XIV
ca	ea	ga	ia	la	na	pa

p n l i g e c d

aa
ca
ea cc
ga ec
ia gc ee
la ic ge
na lc ie gg.
pa nc le ig
pc ne lg ii
pe ng li
pg ni ll
pi nl
pl nn
pn
pp

a c e g i l n p

Фиг. 14.

Можно надписать эти обозначения над соответствующими полями однотонного треугольника и обеспечить себе наглядность и в этом отношении.

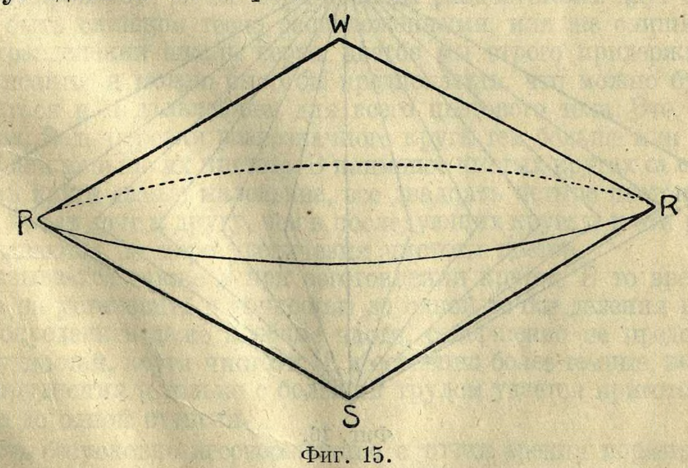
Для того, чтобы эти три соотношения, сообразно с тремя параллельными группами равно-чистых, равно-белых и равно-черных цветов выделялись бы более рельефно, чем это имеет место сейчас, при делении треугольника на ромбы, когда затушевывается самое важное направление (ряды затененности), можно ввести вместо ромбов шестиугольники, в которых уже все три группы цветов намечаются одинаково ясно. Можно нарисовать поля в виде прямоугольников, похожих на строительные кирпичи, благодаря чему особенно хорошо выступает сходство именно цветов рядов затененности. В зависимости от цели мы избираем то или другое изображение.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ.

Цветовое тело.

Цветовое тело. Мы имеем теперь возможность весь мир цветов представить как нечто замкнутое. Для каждого цветового тона можно построить однотонный треугольник, который первоначально надо мыслить непрерывным,—при нормировании же он распадается на конечное число полей. Представим себе, что мы имеем такие треугольники для каждого цветового тона. Поместим по порядку все эти треугольники на одной вертикальной оси таким образом, чтобы ахроматическая сторона каждого треугольника совпадала с этой осью. Треугольники образуют таким образом вокруг оси ахроматического ряда цветовой круг, при чем их углы, представляющие собой полные цвета, совпадают с отдельными точками цветового круга.

Общая форма фигуры полученной таким путем будет двойным конусом (фиг. 15), получающимся от вращения равностороннего треугольника вокруг одной из его сторон, как вертикальной оси. Верхний конец



Фиг. 15.

двойного конуса содержит белый цвет, а нижний конец—черный. По экваториальной окружности расположены полные цвета. На поверхности верхнего конуса лежат все светло-чистые цвета, располагающиеся от полного цвета окружности к белой вершине конуса. Поверхность нижнего

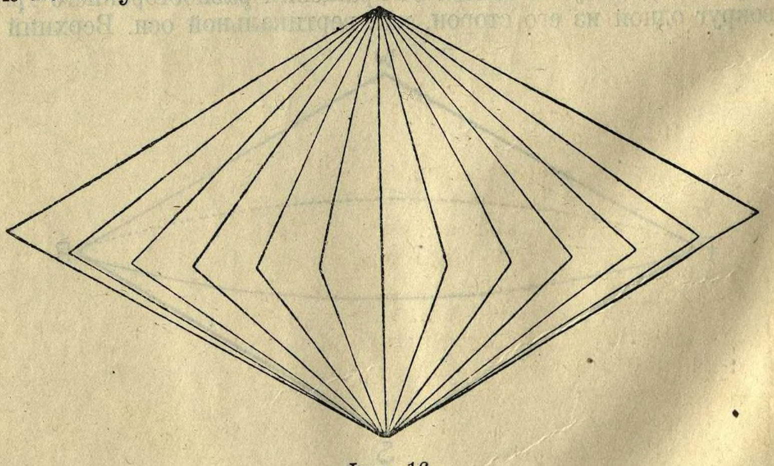
конуса содержит таким же образом темно-чистые цвета. Внутренность двойного конуса заключает в себе все тусклые цвета, при чем все светло-тусклые цвета собраны в верхней половине конуса, а темные в нижней. Наиболее же чистые цвета расположены по окружности.

В зависимости от того, какие мы берем треугольники, аналитические или логарифмические, мы и получаем аналитическое или логарифмическое цветовое тело. Для всех практических целей имеет значение исключительно логарифмическое цветовое тело. Для некоторых же теоретических вопросов предпочтительно бывает аналитическое. Мы должны, поэтому, ознакомиться и с тем, и с другим.

Логарифмическое цветовое тело так же, как и соответствующие ему треугольники, в своем нижнем конце не ограничено и имеет довольно неправильное очертание, зависящее от современных технических возможностей; сообразно с успехами техники, оно медленно растет вниз.

Нормированное цветовое тело. Вместо непрерывно, плавно вращающегося треугольника, который образует цветовое тело благодаря изменению цветного тона с каждым поворотом, у нормированного цветного тела мы имеем 24 различных и раздельных треугольника, соответствующие нормам цветовых тонов. Фиг. 16 дает приблизительное представление об этом расположении; каждый треугольник содержит, если он заканчивается на ступени p, свои 28 однотонных хроматических полей.

При вращении равно-белых и равно-черных, они описывают соответствующие поверхности конусов, которые пересекают друг друга, разбивая все цветовое тело на 28 колец с ромбовидным сечением. Каждое из них составляет цветовой круг, так как содержит все 24 нормы цветовых тонов. Эти кольца пересекаются двадцатью четырьмя поверхностями однотонных треугольников, разбиваясь на двадцать четыре равных отрезка, каждый из которых соответствует одному из нормированных цветов. Если мы останавливаемся на ступени p, то число этих отрезков равно 28×24=672. Сюда нужно еще прибавить 8 ахроматических цветов, которые образуют среднюю колонку или ось.



Фиг. 16.

Равнозначные круги. (Wertgleichen Kreise). Только-что описанные кольца имеют для расположения цветов большое значение. Они содержат «равнозначные» цвета, т.-е. такие цвета, которые обозначены одинаковыми буквами. Сумма этих цветов дает цветовой круг, а поэтому они представляют собой *равнозначные цветовые круги.* Относящиеся сюда цвета по-

казывают какое-то особенно близкое сходство между собою. Это давно уже было замечено художниками, хотя и не было ими осознано. Они обозначали такие цвета, как цвета одинакового «Valör'a». Отсюда и произошло их название: «равнозначные» или «равноценные».

При этом удалось с большой пользой для дела и здесь заменить точным нормированием и точным определением все то, что раньше было неточно, недостоверно, и определялось лишь на-глаз. *Равнозначными цветами являются такие цвета, которые содержат одинаковые количества как белого, так и черного.*

Таких равнозначных кругов в цветовом теле имеется 28, если мы ограничиваемся ступенью p. Они разного диаметра в зависимости от *чистоты* цвета. Все круги с чистотой цвета II находятся ближе всех к вертикальной оси. Вместе они образуют тонкий длинный цилиндр, состоящий из семи колец, что соответствует буквам ca ec ge ig li nl pn. За ним идет следующий, более короткий, цилиндр с шестью кольцами ea gc ie lg ni pl. Следующий за ним состоит из 5 колец: ga ic le ng pi.

Затем следует цилиндр ia lc ne pg, за ним la nc pe, а за этим na pc, и, наконец, находится кольцо pa. Каждый равнозначный круг может поэтому обозначаться двумя буквами, которые указывают на одинаковое содержание белого и черного во всех принадлежащих ему 24 цветах. Вышеописанные цилиндры содержат цвета одинаковой чистоты, дающие ряды затененности (Schattenreihen). Можно, конечно, располагать кольца и по равно-белым и равно-черным цветам; в таком случае эти цвета будут иметь в своем обозначении одинаковой или первую или вторую букву. Подобные кольца образуют поверхности параллельные нижней или верхней поверхности двойного конуса. Соединения цветов по таким признакам имеют, однако, мало значения.

Равнозначные круги дают основание для создания цветовых гармоний из различных цветовых тонов, в то время, как в однотонных треугольниках даны бывают гармонии одинаковых цветовых тонов. Мы еще вернемся в дальнейшем к рассмотрению равнозначных цветов.

Упрек. Часто высказывалось и применялось следующее основное правило нормирования: точки норм должны равноотстоять друг от друга и нигде не быть слишком тесно расположенными, или же слишком редкими. При разделении шкалы серых цветов мы строго придерживались этого предписания и можно было бы предполагать, что можно будет его придерживаться и в дальнейшем для всего цветового тела. Это, однако, не совсем так. Ведь отрезки равнозначного круга тем больше или меньше, чем больше или меньше их чистота. В наименее чистых кругах ca ec и т. д., которые суть круги самые маленькие, все двадцать четыре цветовых тона более тесно лежат друг к другу, чем в последующих кругах, и эти расстояния увеличиваются по мере увеличения чистоты цветов.

Это сказывается также и при изготовлении кругов. В то время, как цвета круга pa установить с точностью до одной точки деления на сто и где можно определить даже дробные части, совершенно не представляет никаких трудностей, круги чистоты II, и особенно более темные, вызывают большие затруднения и только с большим трудом удается приготовить их с точностью до одной ступени.

Это есть безусловно несовершенство с точки зрения нормирования, а посему и не было недостатка в предложениях уменьшить в менее чистых кругах число цветовых тонов до 12, 8, 6 и даже 4, для того, чтобы повсюду иметь приблизительно одинаковые различия. Все-таки недостатки такого нормирования оказались настолько большими, что от него пришлось отказаться.

Причина та, что только лишь тем путем, который был описан раньше, можно получить 24 полных однотонных треугольника, которые нужны не только для логичности построения цветового тела, но и практически для нахождения гармоний равных цветовых тонов. В ином же случае мы получили бы только четыре полных треугольника, другие же обрывались бы не достигая серой оси. Это особенно выделяло бы четыре цветовых тона в ущерб другим тонам, без того, чтоб такое выделение было достаточно обосновано. Лучше уж согласиться с недостатками таких рядов вблизи серой оси (как, напр., у темных цветов чистоты II); ряды IV приготовляются уже полностью без большого труда. Наш случай вполне аналогичен с делением на градусы земного шара, где круги меридианов также все ближе сближаются у полюсов. Все-таки это общепринятое деление имеет в остальном настолько большие преимущества, что указанным недостатком можно пренебречь. То же самое верно и по отношению к нормированию цветового тела. Откажись мы от построения полных однотонных треугольников,—возможности выбора цветовых гармоний особенно бы от этого пострадали.

Метрические свойства цветового тела. Строго упорядоченное построение аналитического цветового тела основывается на одном очень важном свойстве, которое небходимо знать, для того, чтобы правильно понять общее учение о смесях, которое в дальнейшем будет изложено. Мы уже неоднократно указывали на то, что аддитивные или оптические смеси цветов, как, например, те, которые дают вращающий диск, можно представить посредством прямых линий, соединяющих смешиваемые цвета, при чем расстояние точки соответствующей смеси должно быть обратно пропорционально количествам взятых составляющих.

Конечно, не всякое расположение цветов соблюдает это правило. Из всех возможных расположений цветов непрерывными переходами имеется только одно единственное, которое соответствует этому чрезвычайно простому правилу. Это *исключительное расположение цветов и дает аналитический двойной конус цветового тела.*

Поэтому, нужно, исходя из этой точки зрения, рассматривать двойной конус, как последнее и устойчивое решение проблемы цветового тела. После появления пирамиды *Ламберта* и шара *Рунге* были предложены многие другие формы цветового тела, в которых белый и черный располагались на полюсах, а полные цвета по экватору. Но этот экватор получал в свою очередь различнейшие формы: восьмиугольника, ромба и др. Так как постепенность переходов в них сохраняется, то они все могут быть получены из двойного конуса путем растягивания и сплющивания. Лишь «цветовой полушар» *Шевреля* не может быть получен таким путем, так как в нем большая часть цветов повторяется два раза. Он требует для своего построения два деформированных цветовых тела.

Благодаря такому замечательному свойству, двойной конус превосходит все остальные формы и совершенно невероятно, чтоб он в будущем был заменен какой-нибудь другой лучшей формой.

В то время, как аналитическое цветовое тело обладает таким ценным свойством для учения о смесях, логарифмическое цветовое тело обладает другим свойством, которое можно обозначить, как *психологическая равномерность.* Она выражается в том, что одинаковым расстоянием в каком бы то ни было направлении соответствуют одинаковые по величине разности ощущений. Это правило нельзя принять за совершенно точное, так как разницы цветового тона, которые регулируют угловые расстояния вокруг оси и количества белого и черного, от которых зависят расстояния главных сечений в однотонном треугольнике, непосредственно не сравни-

мы друг с другом. Для общей же ориентировки в цветовом теле это правило может быть хорошо применимо. Постольку же и логарифмический двойной конус превосходит все другие формы цветовых тел. Цветовых тел, при изготовлении которых принимался бы во внимание закон Фехнера, до появления логарифмического цветового тела не существовало. Прежнее цветоведение прошло мимо этого закона, поскольку полемически не стало против него.

Закон Фехнера, как закон границ. Некоторые представители психологической науки вместо того, чтобы воспользоваться той громадной помощью, которую дает закон Фехнера всей психологии, занялись выяснением пределов, границ, противоречий и всякого рода препятствий, которые мешают приложению этого закона. Самым правильным и плодотворным было бы, однако, здесь то же отношение, которое было проявлено химией и физикой по отношению к закону, касающемуся газов: $pv = RT$. Всем нам известно, что ни один газ совсем точно не подчиняется этому закону, и все-таки мы все не колеблясь применяем это основное правило как основной закон при самых далекоидущих заключениях, как например в термодинамике. Он фактически описывает свойства газов, с достаточной приближенностью, для большинства их состояний, а в особенности хорошо для случаев, когда давление мало, а температура высока.

Если мы, в исключительных случаях внесем ту или другую поправку, то этим мы можем достичь желательной для нас степени точности. В последнее десятилетие на основании этого правила были даже произведены определения атомных весов элементов, которые принадлежат к числу наиточнейших, имеющихся в нашем распоряжении.

Таким же самым должно быть и наше отношение к закону Фехнера. В общем он описывает все отношения между раздражением и ощущением с достаточной точностью. Область же применения этого закона так необозримо велика, что в научном отношении мы гораздо больше выигрываем от его всестороннего использования, чем от стараний направленных к тому, чтобы найти уклонения от его точного выполнения,— стараний, приводящих к отказу им пользоваться вообще. Я, например, никоим образом не получил бы свой первый атлас цветов, содержащий 2.500 цветов, если бы не воспользовался в основном и целом законом Фехнера, пренебрегая теми сомнениями частного характера, которые имеются по поводу него в науке.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ.

Учение о цветовом полукруге.

Противоречие. Мы уже раньше указывали на существующее противоречие между линейным расположением длины волн в спектре и кольцеобразным расположением соответствующих цветовых ощущений. Загадочно также и то, что совсем отсутствующие в спектре пурпурные цвета не кажутся нам занимающими какое-нибудь особое положение. С психологической точки зрения эти цвета принадлежат к тому же самому классу, что и все остальные, имеющиеся в спектре, цвета. Эти цвета пурпура отличаются от прочих цветов лишь особой элементарной красотой, особенно сильно действующей на детей и примитивных людей. Этот факт, как и многие другие, находится в резком противоречии с общепринятым представлением о том, что элементами наших цветовых переживаний являются лишь однородные световые лучи, с одинаковым

числом колебаний. Трудно себе представить, что многие исследователи, занимавшиеся учением о цветах, терпели такое противоречие и ничего не предпринимали для его устранения. Этот пробел можно об'яснить только тем, что к этим противоречиям мы привыкли с детства, раньше чем начали задумываться над исправлением научных шероховатостей. Сила этой привычки настолько велика, что я даже не смог убедить одного крупного специалиста в этой области в существовании подобного противоречия.

Об'яснение этому, как мы уже указывали, заключается в том, что однородный свет относительно редко кому удается видеть в своей жизни и то лишь в уже более позднем возрасте, когда мы имеем случаи смотреть на однородный свет в спектроскоп. Не может быть поэтому и речи о том, чтобы однородный свет имел какое-либо влияние на развитие глаза. Поэтому однородный свет никоим образом не может быть той элементарной формой, на которой зиждется всякое цветовое видение. Это не более, как второстепенное явление и имеет, поэтому, для учения о цветном зрении второстепенное значение. Известно, что и тона звуков с одинаковыми синусоидными волнами получаются только в особенно приготовленных приборах, и то лишь при особых условиях. Эти синусоидные волны являются бесспорными элементами слухового тона. Ухо, благодаря своему особенному устройству, производит физическое разложение сложнейших колебаний на их составные элементарные синусоидные волны, которые мы после некоторой тренировки и можем слышать отдельно друг от друга. К подобному анализу наш глаз абсолютно не приспособлен. Он воспринимает любую цветовую смесь всегда как единое целостное ощущение. Смесь разных чисел колебаний, которая в мире звуков вызвала бы ощущение неприятного шума, воспринимается глазом как спокойный и чистый белый цвет.

Разрешение противоречия. Здесь мы опять имеем дело с фактом, который явно показывает насколько хромает всякая попытка уподобить цвет звуку. Путь, на котором мы сможем найти правильное решение поставленного вопроса, нами был уже указан. Согласно ему, биологическое развитие нашего глаза шло при воздействии на нас всегда широких световых полос с различным числом колебаний. В закономерностях таких именно восприятий и надо искать основания для всего процесса зрения.

Как известно, цвет тел обусловливается тем, что белый свет, содержащий в себе волны всех чисел колебаний, благодаря поглощению в данном теле, часть из них теряет. Числа колебаний поглощенных волн группируются около некоторой средней величины. Если эта группа поглощаемых волн мала и поглощение слабо.—другими словами, если при этом поглощены лучи, близкие друг к другу и поглощение мало, то тело выглядит почти белым с некоторым оттенком цветности. Цвет этого налета является дополнительным к поглощенному цвету.

Если же поглощение становится более сильным и затрагивает более широкий участок спектра, то в цвете данного тела происходят изменения: белый цвет идет на убыль, а полный цвет выступает наружу, становясь более глубоким и чистым. Это явление усиливается и доходит до наибольшей чистоты цвета, когда область поглощения становится достаточно широкой, а поглощение в ней почти полным. Существует, однако, и здесь граница. Если поглощение, перейдя определенный предел, продолжает увеличиваться еще дальше, то цвет начинает чернеть и в случае, если область поглощения захватывает все видимые световые волны, мы имеем перед собою уже чисто черный цвет.

Такую последовательность цветов можно легко наблюдать, если мы возьмем раствор какой-нибудь чистой каменноугольной краски, как, например: бенгальской розы, патентованной синей (Patentblau), этиловой зелени, в клиновидный сосуд и будем смотреть сквозь него на белую стену. В остром конце сосуда цвет бледный. Постепенно он делается более глубоким и чистым, достигает наибольшей чистоты и постепенно переходит в черный цвет. Если мы будем рассматривать эти места через спектроскоп, то увидим, как изменяются полосы поглощения,—как они из узкой теневой полосы превращаются в темное поле, которое расширяясь покрывает в конце-концов весь спектр. Самой высшей чистоте, которую наш глаз воспринимает, соответствует всегда такая область поглощения, которая вполне покрывает половину всего спектра.

Здесь необходимо вспомнить факт, указываемый еще *Шопенгауэром*, что тела, отражающие только однородный свет, должны выглядеть черными. Это происходит оттого, что в белом цвете отдельные части строго однородного света являются лишь ничтожными долями всего света. Только что изложенное доказывает, что для того, чтобы вызвать ощущение чистого или полного цвета, необходимо воздействие множества световых лучей, число колебаний которых, примерно, охватывает половину спектра.

Это и есть то «качественное деление деятельности сетчатки», которое *Шопенгауэр*, как тонкий мыслитель, ставил в виде проблемы, но об'яснить которое физико-физиологически не смог. Он ошибочно искал причину многообразия цветов тел в отношениях силы света. На самом же деле причиной этого многообразия является то, что деление спектра может происходить в разных местах. В зависимости от того, где в спектре лежит остающаяся часть световых лучей, у нас и возникают ощущения разных цветовых тонов.

Тут возникает вопрос о количестве световых лучей (ширине той спектральной полосы), при котором совершается перелом от заметной белесоватости (в силу слишком малого поглощения) к заметной черноватости (в результате слишком большого поглощения). Для решения этого вопроса следует, прежде всего, обратиться к опыту.

Желтый цвет предметов. Чистые цвета можно получить, если чистые растворы красителей влить в сосуд с параллельными стенками и наблюдать их в просвечивающем свете. Если мы этот опыт проделаем в темной комнате со светлым отверстием, которое и прикроем сосудом с раствором красителя, то получим прекрасные чистые цвета, не уступающие по красоте спектральным, хотя рассмотрение их в спектроскоп и показывает, что они пропускают широкую полосу лучей весьма различного числа колебаний, коей мы в обычных условиях отнюдь красоты не приписали бы.

Насыщенный раствор пикриновой кислоты в алкоголе, или раствор кальциевой соли пикриновой кислоты в воде, кажется уже в тонком слое чисто желтым и очень мало меняет цвет даже при увеличении толщины слоя на много сантиметров.

Это вещество относится к таким, которые дают наиболее чистые цвета. Если мы рассмотрим желтый цвет через спектроскоп, то увидим, что полное поглощение синего конца тянется вплоть до среднего зеленого, приблизительно до фраунгоферовой линии F. Этот зеленый цвет является дополнительным к самому крайнему красному. Увеличение толщины слоя краски дает постепенное передвижение границы к красному концу. Насыщенный желтый свет, следовательно, состоит не из однородного света с длиной волны 572 (где лежит чисто желтый в спектре), а из

всех лучей света, от красного, через оранжевый, желтый, лиственно-зеленый, до морского зеленого. Хотя пограничные лучи являются как раз дополнительными цветами, дающими в смеси белый цвет, мы тем не менее ощущаем такой пикриновый желтый, как цвет чистый и свободный от белой подмеси.

Те же самые наблюдения можно сделать с нейтральным раствором желтого хромовокислого калия (Kaliumchromat). Явления не зависят, следовательно, от особенных свойств именно пикриновой кислоты, но общи всем желтым веществам. Существует, однако, не много веществ, дающих как вышеперечисленные, резко ограниченную полосу поглощения, которая мало меняется даже и при большом увеличении толщины слоя раствора. У большинства же желтых растворов с увеличением толщины слоя раствора граница полосы поглощения очень заметно передвигается к красному концу, а цвет все больше приближается к оранжевому.

Вышеописанные закономерности мы наблюдаем и на покрашенных желтым поверхностях и убеждаемся, что действительно все желтые цвета тел, без исключения, имеют такой же спектр, как только что описанный. Это не является, следовательно, результатом каких-либо химических особенностей цветных веществ, но здесь мы имеем дело с совершенно общим свойством всех желтых цветов окружающего нас мира.

Цветовой полукруг. Те явления, которые мы наблюдали у желтых тел, повторяются также и с телами других цветов. Если мы постепенно начнем двигать описанный выше цветной клин, поставленный перед световым отверстием темной камеры (камер-обскуры), то можно довольно легко найти такое место, где имевшаяся вначале белесоватость исчезает, и цвет становится насыщенным (gesättigt). Дальше этой границы цвет становится только темнее, оставаясь той же насыщенности. Он не обнаруживает подмеси черного, так как при описываемой постановке опыта мы имеем дело с неотнесенными цветами (unbezogene Farben). Спектроскоп показывает на этом месте широкую полосу пропускания света, крайние цвета которой приблизительно дополнительны один к другому. Расстояние между каждым из этих крайних цветов полосы пропускания и главным цветом равно, приблизительно, одной четверти цветового круга. Все-таки, для большого числа цветов это явление наблюдается не в столь полной мере,—например, у тех цветов, у которых один край данной полосы образуется цветом, не имеющим себе дополнительного в спектре. Таковы зеленые цвета между 75 и 96. Для них второй край спектральной полосы пропускания падает за крайним красным или за крайним фиолетовым; видимая часть спектра соответственно этому сокращена.

Не совсем удается доказать выясняемую закономерность цветными растворами, т. к. края полос поглощения никогда не бывают здесь резко очерченными, но являются, в большинстве случаев, размытыми. Но можно, по *Максвэллу*, приготовить аппарат, с помощью которого удается смешивать световые лучи любого числа колебаний так, чтобы они в совокупности давали искомый эффект. Фактически, этот прибор есть не что иное, как перевернутый спектроскоп: его устройство описано мною в моей книге «Физическое учение о цветах» на стр. 126. Этим путем мы получаем полное подтверждение общего правила, что идеальные полные цвета, к которым цвета тел приближаются, всегда содержат все световые лучи своего *цветового полукруга*. Цветовой полукруг есть совокупность всех цветовых лучей, цвета которых простираются на четверть круга в обе стороны от того рода лучей, цветовой тон которых одинаков с цветовым тоном результирующего полного цвета. Так расположены на четверть круга (по обе стороны) от желтого, обозначенного 00, красный с

обозначением 25 и морской зеленый 75. Все световые лучи от красного до морского зеленого и образуют в совокупности полный желтый цвет 00.

Естественная чернота холодных цветов. Половина цветового круга в своих крайних границах имеет своими граничными членами такие световые лучи, которые относятся друг к другу как дополнительные цвета, т.-е. при смешении дают белый свет. Можно было бы поэтому ожидать, что общая смесь их окажется белесоватой. Опыт, однако, этого не подтверждает. Вдумываясь, можно понять, что подмесь белого здесь настолько мизерна, что даже не ощущается.

Между тем, *Гельмгольц* на примере несоотнесенных зеленых цветов показал, что смеси даже совсем близких волн дают более белесоватые цвета, чем однородные лучи соответственного цветового тона. Также и полученные из цветовых полукругов зеленые выглядят не столь насыщенными, как желтые и красные цвета, полученные таким же образом.

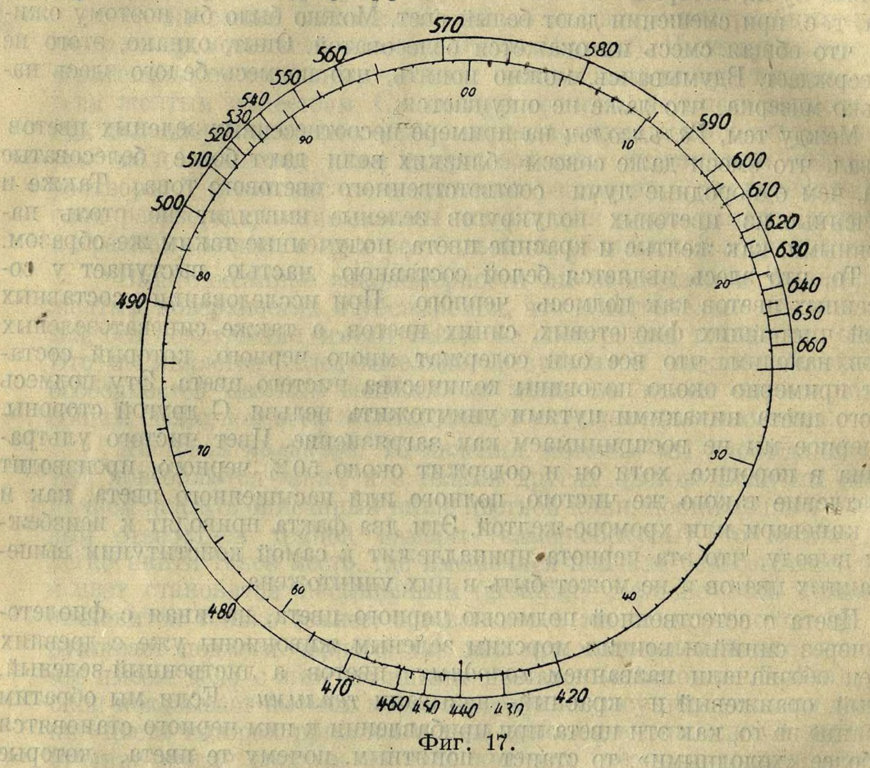
То, что здесь является белой составною частью, выступает у соотнесенных цветов как подмесь черного. При исследовании составных частей чистейших фиолетовых, синих цветов, а также синеватозеленых цветов находим, что все они содержат много черного, который составляет примерно около половины количества чистого цвета. Эту подмесь черного цвета никакими путями уничтожить нельзя. С другой стороны, это черное мы не воспринимаем как загрязнение. Цвет чистого ультрамарина в порошке, хотя он и содержит около 50% черного, производит впечатление такого же чистого, полного или насыщенного цвета, как и цвет киновари или хромово-желтой. Эти два факта приводят к неизбежному выводу, что эта чернота принадлежит к самой конституции вышеназванных цветов и не может быть в них уничтожена.

Цвета с естественной подмесью черного цвета, начиная с фиолетового через синий и кончая морским зеленым живописцы уже с древних времен обозначали названием *холодных* цветов, а лиственный-зеленый, желтый, оранжевый и красный—называли *теплыми*. Если мы обратим внимание на то, как эти цвета при прибавлении к ним черного становятся все более «холодными», то станет понятным, почему те цвета, которые органически содержат в себе большую подмесь черного, воспринимаются нами как холодные и в чистом своем виде.

Описание цветовых полукругов. Состав цветовых полукругов по длине составляющих их световых волн легко проследить на фиг. 17, которая воспроизводит то же самое, что и фиг. 6, и напечатана здесь еще раз для удобства. Нужно только половину круга прикрыть бумагой таким образом, чтоб край этой бумаги проходил через центр, тогда в открытой половине круга мы увидим составные части одного цветового полукруга. Если прибавим сюда стрелку, которая перпендикулярна к краю бумаги и которая делит данный полукруг пополам, то она будет указывать нам тот цветовый тон, который свойственен данному цветовому полукругу.

Если положим бумагу горизонтально, то стрелка (основание которой должно совпасть с центром круга) укажет на цветовой тон 00, и мы увидим, что волны от 488 до 670 образуют цветовой полукруг, дающий первый желтый цвет, как раньше нами уже и было указано. Если передвинем стрелку вправо, к более темному желтому, то с левой стороны в качестве крайних будут указываться более длинные волны, в соответствии с передвижением граничного цвета в сторону лиственного зеленого. Дальше, на правой стороне граница передвигается уже в пробел, где находятся невидимые, лежащие за красными, лучи света. Видимая часть цветового полукруга укорачивается и тем более, чем далее стрелка пе-

редвигается от желтого к оранжевому. Также и оранжевым цветам соответствует неполный цветовой полукруг, все более укорачивающийся. Самый короткий цветовой полукруг, который содержит лиственно-зеленый, желтый, оранжевый до красного, соответствует оранжевому 20, или же, приблизительно, цвету сурика.



Фиг. 17.

Вышеустановленным об'ясняется и то, что существует много различных, красивых по цвету, желтых, оранжевых и красных веществ и красителей. Укажу здесь только на хромовые желтые краски, простирающиеся на всю данную область цветов, цинковую желтую и другие соли хромовой кислоты, далее, на кадмиевую желтую, трехсернистый мышьяк, трехсернистую сурьму, свинцовый сурик, киноварь и громадное число органических желтых и оранжевых каменно-угольных красящих веществ. Сюда также относится и большинство нитро-соединений. Для появления желтых, оранжевых и красных цветов необходимо, чтоб поглощение началось с фиолетового конца спектра и простиралось бы через оба синие до зеленого или дальше. Так как в силу многих условий полоса поглощения может передвигаться в сторону более длинных волн или волн с меньшим числом колебаний, то часто полоса поглощения из области, лежащей за фиолетовым, бывает передвинута и сюда, при чем могут в результате появляться все цвета от светлого желтого до красного цвета сурика. Они бывают тем более чистыми, чем резче очерчена полоса поглощения.

При передвижении нашей стрелки дальше вправо, за оранжевый 20, открывается просвет уже на фиолетовом конце спектра. Цветовой полукруг содержит в данном случае, оба конца спектра видимыми, зато имеет пропуск в середине, так как он состоит из части с длинными волнами, заключающей желтый, оранжевый и красный цвета и из коротковолных цветов, каковым является фиолетовый. Первые цвета содержат

наряду с желтым и часть лиственно-зеленых цветов. Таковы красные цвета предметов, имеющие под собою, благодаря вышеуказанному, раздвоенный цветовой полукруг. Поглощение в этом случае захватывает синие и зеленые лучи.

Подобное расположение световых лучей сохраняется и при дальнейшем передвижении стрелки вправо: часть красного лишь шаг за шагом уменьшается, благодаря растущему здесь поглощению лиственной зелени, желтого и оранжевого, в то время как фиолетовая часть растет, благодаря появлению ультрамариновой синей, ледяной синей и морского зеленого цветов. При границе на ультрамариновой синей 50 окончательно исчезает та часть цветового круга, которая обладает длинными световыми волнами, и видимая область опять становится целостной.

Существует также и большое количество красных веществ, которых все-таки не так много, как желтых и оранжевых. Они получаются тогда, когда область поглощения выходит из-за фиолетового в видимую область настолько, что фиолетовый и ультрамариновый синий вновь освобождаются. В зависимости от величины этого передвижения оптический центр тяжести полосы поглощения переходит через синий в зеленый и дальше, цвет же переходит через красный к пурпурному и фиолетовому.

То особое психическое действие, которое оказывают на нас красные и пурпурные цвета, вполне может вызываться тем, что цвета эти составлены из физически самых наиразличных лучей.

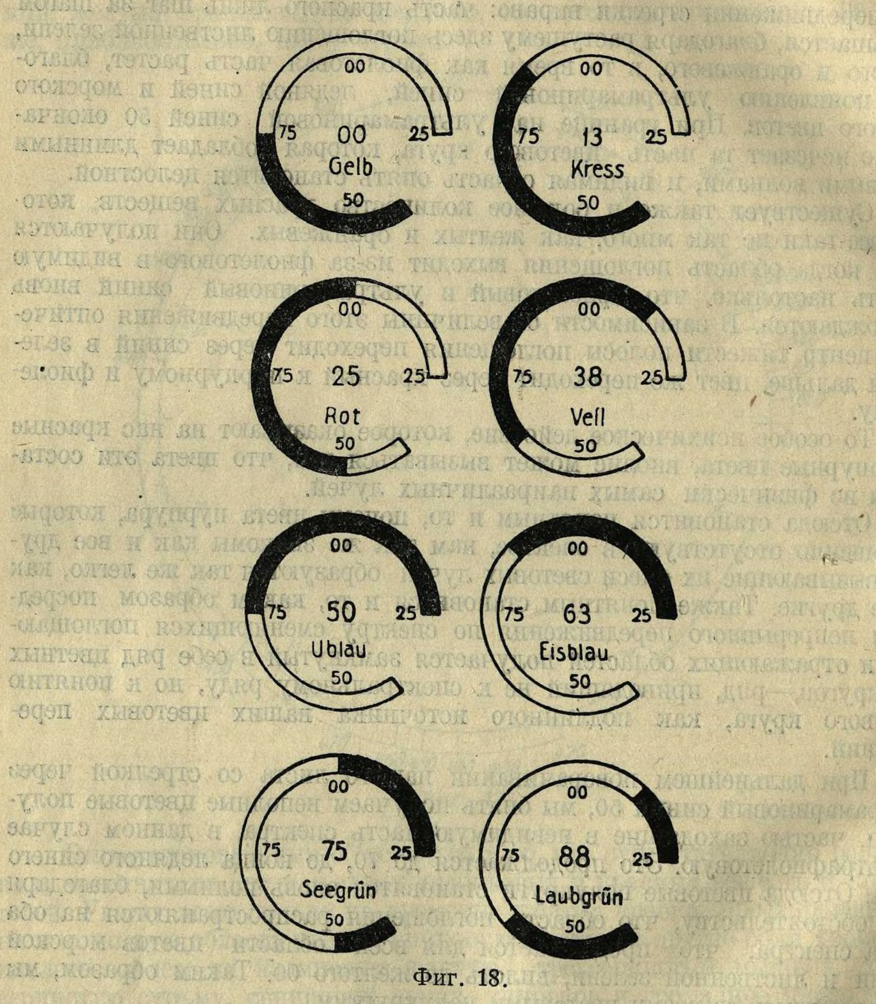
Отсюда становится понятным и то, почему цвета пурпура, которые совершенно отсутствуют в спектре, нам так же знакомы как и все другие; вызывающие их смеси световых лучей образуются так же легко, как и все другие. Также понятным становится и то, каким образом посредством непрерывного передвижения по спектру сменяющихся поглощающих и отражающих областей получается замкнутый в себе ряд цветных полукругов,—ряд, приводящий не к спектральному ряду, но к понятию цветового круга, как подлинного источника наших цветовых переживаний.

При дальнейшем поворачивании нашего листа со стрелкой через ультрамариновый синий 50, мы опять получаем неполные цветовые полукруги, частью заходящие в невидимую часть спектра, в данном случае в ультрафиолетовую. Это продолжается до 70, до конца ледяного синего цвета. Отсюда цветовые полукруги становятся вновь полными, благодаря тому обстоятельству, что области поглощения распространяются на оба конца спектра, что продолжается для всей области цветов морской зелени и лиственной зелени, вплоть до желтого 00. Таким образом, мы познакомились со всеми цветовыми полукругами.

Число красящих веществ этой области цветов не велико. В особенности мы чувствуем недостаток красок добываемых из веществ, находящихся в каменно-угольной смоле, для области ледяного синего цвета. Это означает, что редко две полосы поглощения так близко соприкасаются между собой, что отстоят друг от друга как раз на расстоянии цветового полукруга. Если в будущем возрастут наши познания факторов, посредством которых можно регулировать по желанию положение полос поглощения, то мы будем иметь возможность сознательно приготовлять краски с таким особо редким поглощением. До сих пор, т.-е. до ознакомления с учением о цветовом полукруге, ключ к решению этой проблемы отсутствовал.

Обзор. В виду того, что знакомство с особенностями цветовых полукругов является основоположным для разработки многих теоретиче-

ских и практических областей, то представляется очень желательным изложить в более наглядной форме то, что мы выше изложили словесно. Для этого мы используем фигуру 17, беря ее только в уменьшенном и упрощенном виде. Области поглощения для восьми главных цветов изображены черным, а области отражения света оставлены белыми (фиг. 18).



Фиг. 18.

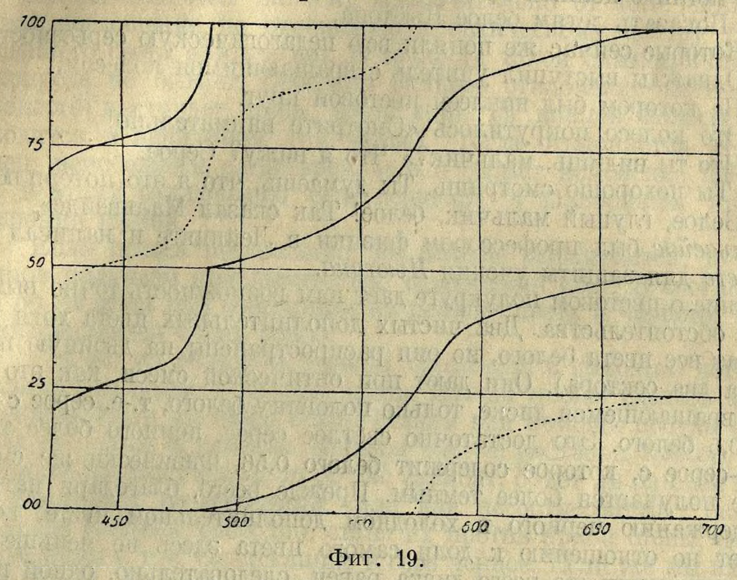
Для желтого цвета мы видим полный светлый цветовой полукруг с незамкнутой областью поглощения. У оранжевого он несколько уменьшен. Красный и фиолетовый цвета имеют разорванные области отражения и сплошные области поглощения. Ультрамариновый синий имеет неполную область отражения и полную область поглощения; обратное явление мы видим у ледяного синего. Оба зеленых цвета, наконец, имеют разделенные области поглощения и замкнутые области пропускания.

Рисунки означают каждый первый из основных цветов, т.-е. желтый 00, оранжевый 13 и т. д. Рассмотрение двух следующих друг за другом цветов хорошо позволяет представить и отношения, имеющиеся для цветов промежуточных между ними.

Другое изображение дано фиг. 19. Здесь длины волн нанесены горизонтально, номера же цветовых тонов—вертикально; проведенные

линии изображают границы цветовых полукругов, которые соответствуют каждому цветовому тону.

Если мы начертим горизонтальную линию на уровне соответствующего номера цветового тона, то в точках пересечения с вертикальными будут лежать длины волн пограничных точек. Линии, нанесенные пун-



Фиг. 19.

ктиром, изображают длины волн однородных световых лучей, которые имеют тот же цветовой тон, как и сюда относящиеся цветовые полукруги. Они представляют собой, следовательно, их середину или их оптический центр тяжести [1]).

Своеобразно изогнутый ход линий есть следствие вышеизложенной особенности, благодаря которой физический спектр не совпадает с психологически равномерным расположением цветов, но обнаруживает чередование областей более легко различимых и менее легко различимых цветов.

.. *Дополнительные цвета.* Непосредственным следствием учения о цветовом полукруге является то, что при смешении дополнительных цветов должно получиться белое. Дополнительные цвета тем и замечательны, что границы между областями поглощения и пропускания у них одни и те же, различие же между ними состоит в том, что то, что для одного цвета является областью поглощения, для дополнительного к нему цвета есть область пропускания, и наоборот. При сложении всех цветов, расположенных по обе стороны от этих границ, мы тем самым складываем все цвета, а потому и должны получить белый цвет. Это есть *первая теория, которая об'ясняет физически образование белого цвета при смешении каждой пары дополнительных цветов.* Одновременно здесь имеется возможность наконец-то разрешить спор, который длится уже больше ста лет. Среди аргументов, которые *Гете* выставил против учения *Ньютона*, большую роль играл тот факт, что при смешении всех цветов спектра, которые в виде секторов нанесены на поверхность вращающегося диска, никоим образом нельзя получить белый цвет, а всегда получается серый. Защитники ортодоксального учения делали ту ошибку, что они без про-

[1]) Угловатость в средней кривой, вероятно, следует приписать ошибке измерения.

верки принимали предпосылку, согласно которой должен обязательно получиться белый цвет. При помощи бледных цветов, которые обрамлены темно-черными краями, с целью вызвать влияние контраста, они старались приблизить по возможности к белому получаемый при этом серый цвет; они могли с полным правом восклицать шутку *Гете:*

«Показать детям белое Ньютона,
Которые сейчас же поняли всю педагогическую серьезность.
Однажды выступил учитель с вращающимся колесом,
На котором был наклеен цветовой круг.
Это колесо покрутилось «Смотрите внимательно!
Что ты видишь, мальчик?» Что я вижу? Серое.
«Ты нехорошо смотришь. Ты думаешь, что я это потерплю?!
Белое, глупый мальчик, белое! Так сказал Мальвейде».

Мальвейде был профессором физики в Лейпциге и написал книгу против *Гете* для защиты учения *Ньютона.*

Учение о цветовом полукруге дает нам возможность точно выяснить здесь все обстоятельства. Два чистых дополнительных цвета хотя вместе и содержат все цвета белого, но они распространены на двойную поверхность (на два сектора). Они дают при оптической смеси, как это имеет место на вращающемся диске, только половину белого, т.-е. серое с содержанием 0,5 белого. Это достаточно светлое серое, немного более темное, чем бело-серое с, которое содержит белого 0,56. Физически же смешанное серое получается более темным. Прежде всего, благодаря натуральному содержанию черного в холодном дополнительном цвете, который составляет по отношению к доли самого цвета здесь не меньше одной трети, в отношении же всего диска равен, следовательно, одной шестой. Это число должно быть еще немного увеличено, так как холодный цвет, котрый содержит только две трети полного цвета, должен занять больше чем половину круга, чтобы нейтрализовать теплый дополнительный цвет, а именно 0,6; а это дает черного еще 0,2. Также практически нельзя изготовить и теплые цвета совершенно свободными от черного. Серое будет поэтому находиться между e и g, т.-е. будет все же казаться достаточно светлыми. Подсчет остается одинаковым для каждой пары дополнительных цветов, так как каждая пара состоит из одного теплого и другого холодного цвета. Оно также относится и к цветовому кругу с любым числом дополнительных цветов, и в конечном счете ко всякому расположению, по образцу светового круга, которое при смеси дает нейтрально-серый цвет.

Это также относится и к обыкновенному вращающемуся диску с окрашенными секторами. Если цвета получаются при помощи волшебного фонаря на стене, то в зависимости от желания их можно смешать в белый или серый цвет. Если же дадим всему свету падать на стену таким образом, что смесь будет видна на белом фоне, то получается серый цвет, также как и на бумажных кружечках. Если же, наоборот, дадим цветам и их смесям проявиться на темном фоне, то получается белый цвет. Так как в данном случае цвета не являются соотнесенными, в области же несоотнесенных цветов не имеется серого, а существует лишь белое и темнота. В первом же случае мы имеем дело с соотнесенными цветами благодаря белому цвету окружающего фона.

Белое и черное в цветах предметов. Неоднократно нами указывалось, что получить посредством поглощения чистые цветовые полукруги, нельзя, так как края полос поглощения никогда не бывают резко очерченными, а всегда бывают размытыми. Мы должны, поэтому, рассмотреть те следствия, которые получаются благодаря тому, что цветовые полукруги не осуществляются в полной мере.

Если полоса поглощения шире чем полукруг, то в полосе пропускания недостает световых лучей. Этот недохват служит причиной возникновения черной подмеси в данном цвете. Эта черная часть тем больше, чем шире полоса поглощения. Остается ли при этом тот же цветовой тон или он меняется зависит исключительно от того, симметрично ли растет поглощение по отношению к оптическому центру тяжести пропущенного света или же нет. В точности такой симметричности никогда в природе не бывает. Особенно сильное отклонение цветового тона от исходного наступает тогда, когда один из концов полосы поглощения находится в невидимом (см. выше). Тогда отклоняется только другой конец, неизбежным следствием чего и бывает изменение цветового тона. Мы к этому заключению еще вернемся в дальнейшем при изучении смешения цветов.

Если полоса поглощения все больше расширяется, то мы в конце концов получаем приблизительно однородный свет. В соотнесенных цветах он видится нам состоящим из полного цвета и черного, так что полного цвет виден очень слабо.

Сейчас мы обладаем, однако, средством, с помощью которого можно удалить всю подмесь черного цвета. Нужно только сделать цвет не соотнесенным. Если мы наши опыты ставим при помощи посуды с параллельными стенками, в которую вливаем чистые растворы красок, а затем эти растворы рассматриваем, то от нас зависит, будет ли данный цвет видеться нами как соотнесенный, или как несоотнесенный. Рассматриваем мы наши растворы свободно, ставя их против яркой стены, цвет их будет соотнесенным, т.-е. содержащим в себе черное. Если же мы их рассматриваем через темную трубочку (зачерненную изнутри и снабженную диафрагмой, без линз) так, что ставим их перед ее отверстием и никакой другой свет нам в глаз не попадает, то мы увидим цвет жидкости свободным от черного и притом насыщенным, так как он не будет содержать в себе заметных количеств и белого цвета.

Цвета однородных лучей. Они ведь являются условиями видения нами спектральных цветов. Поэтому они и кажутся нам чистыми или насыщенными.

Цвета однородных лучей света есть, следовательно, не больше и не меньше, как некоторое элементарное явление. Они проявляют себя только при особых обстоятельствах и их чистота и насыщенность обусловлена тем, что мы их видим несоотнесенными. Как цвета предметов мы их вообще никогда не имеем возможности наблюдать, так как цвета тел всегда лишь отражают только часть падающих лучей света и в лучшем случае могут отражать не больше однородного света, чем его на них падает.

В падающем же свете часть каждых однородных лучей настолько мала, что не поддается и определению. Соответствующий цвет тела должен, поэтому, содержать громадное количество черного, а потому и выглядеть черным.

Гете по существу прав, когда он не хочет признать в духе Ньютона спектральные цвета первоначальным феноменом цветоведения. Неправ он был лишь, когда хотел представить в качестве такового цвет мутной среды. Для того, чтобы пойти по правильному пути, ему нужно было бы мысль *Шопенгауэра* о качественном делении ретины при помощи ньютоновского анализа белого цвета развить в учение о цветовом полукруге. В его время не было недостатка в об'ективных предпосылках, хотя их и было очень не легко изложить и использовать, доказательством чего служит задержка развития этого вопроса вплоть до наших дней. У него отсутствовали, однако, необходимые суб'ективные предварительные условия. Идея *Шопенгауэра* появилась слишком поздно, в то время, когда

Гете уже отошел от этой работы. А затем в строе его души вообще отсутствовали аналитический и математический элементы, без которых немыслима такого рода работа.

Содержание белого и черного. Мы уже раньше описали, как благодаря расширению полосы поглощения полный цвет (в соотнесенных цветах) становится все более и более черным, пока темно-чистый цвет окончательно не переходит в черный. Обратное явление также имеет место: так, при сужении полосы поглощения примесь белого все больше увеличивается вплоть до чистого белого цвета, когда полоса поглощения совсем исчезает. Здесь цвета соотнесенные и несоотнесенные держат себя одинаково.

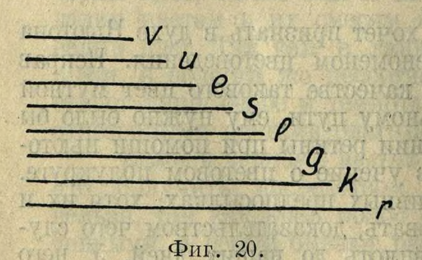
Описанный процесс не единственный, дающий примеси белого и черного. Оба эти цвета проявляются и тогда, когда поглощение или пропускание бывают в своей области *неполными*.

Возьмем для примера следующий случай: мы имеем полосу поглощения, которая по ширине точно равняется цветовому полукругу, но при этом поглощает не весь падающий свет нацело, но часть его пропускает. Эта пропущенная часть света смешивается с соответствующей частью из полосы пропускания и вместе они дают белый цвет. Что же касается полного цвета, то его образуется только то количество, которое соответствует поглощению.

Таким же образом получается черный цвет и в том случае, если полоса поглощения не шире цветового полукруга, но при этом полоса пропускания в противоположной области не полная, а подобна *лишь* как бы видимой через «пелену». Эта часть из полосы пропускания вместе с равной частью из полосы поглощения образует одинаковое количество черного.

Не исключена возможность и того (и это даже скорее, правило), что обе причины неполноты чистого цвета бывают налицо одновременно. Только в исключительных случаях поглощение и пропускание бывают полными. Из этого следует, что практически все цвета предметов наряду с чистым цветом содержат измеримые количества как черного, так и белого. При этом оба эти цвета, согласно закона Фехнера, сказываются не в одинаковой мере. Цвета могут содержать большие количества черного, до 20%, без заметного потускнения, в то время как к белому цвету они очень чувствительны и тем в большей мере, чем меньше они содержат его.

Цветные края. Нет такого явления, которое было бы более знакомо, чем цветные края, видимые на границах предметов, при рассматривании их сквозь рассеивающую призму, и которое бы более «понятно» об'яснелось, чем это. Вполне ведь ясно, что благодаря рассеиванию света все светлые области смещаются сообразно своему преломлению. Мнимое изображение красного преломления меньше всего, фиолетового же сильнее всего. Изображения большей частью перекрывают друг друга. Только на краях разница отклонений вызывает появление цветных ободков. Эти цветные края с наименее отклоняемой стороны начинаются красным, а затем переходят в оранжевый и желтый цвета. С другой же стороны они начинаются темно-фиолетовым, который в своей более светлой части переходит в синий цвет. Фиг. 20 дает схематическое изображение первого случая, где цвета красный, оранжевый, желтый и т. д. обозначены буквами r, k, g и т. д. и для большей наглядности начерчены отдельно друг



Фиг. 20.

от друга, в то время как в действительности они лежат или нами воспринимаются в одной плоскости.

При ближайшем рассмотрении такого цветного канта можно установить, что он начинается ярким, немного желтоватым красным (25), который быстро через оранжевый цвет переходит в желтый. Желтый цвет занимает исключительно широкое пространство, и не сливается с белым— как то можно было бы ожидать, но определенно граничит с ним. Если мы при этом вспомним, какой узкой полосочкой желтый цвет выступает в спектре, то пышное развитие этого цвета в цветных краях должно нам казаться чем-то противоречивым. Также необходимо об'яснить и его резкую очерченность.

Об'яснение всему этому впервые и дает теория цветового полукруга. Если мы на фиг. 20 посмотрим на цветные смеси, которые здесь получаются, то мы увидим, что раньше всего из темноты выступает чисто красный цвет. Он сравнительно яркий и довольно широко простирается, так как может относительно долго передвигаться по спектру без изменения цветового тона в красном цвете. Затем следуют цвета оранжевый и желтый, которым в спектре соответствуют очень узкие полосы; они дают несколько более яркий и желтый красный. Лиственная же зелень присоединяясь дает сначала оранжевый, а затем темно-желтый цвет. Затем следует в спектре широкая полоса средне-зеленого цвета. Здесь же цветовой полукруг всех желтых цветов широко развит и обусловливает широкую полосу желтого цвета, которая видна наряду с более узкими красным и оранжевым. При достижении Фраунгоферовой линии F, мы имеем уже полный цветовой полукруг первого желтого 00. Дальше морской зеленый с первым красным дают белый цвет. Так как, согласно закона Фехнера, уже малое количество подмеси заметно уменьшает насыщенность цвета, то, уже и до этого достаточно светлый, первый желтый цвет окончательно бледнеет и мы уже почти не видим рядом с ним больше хроматических цветов.

То же самое мы видим у синего края, нужно только изменить порядок цветов. Так же, как в стороне желтого, цвет 25 с самыми длинными волнами отстает от главного цвета этого края, т.-е. от желтого 00 на 25 ступеней или на четверть круга, так и здесь цветовой тон 45 с самыми короткими волнами отстоит на 25 ступеней от точки 70, которая находится между ультрамариновым синим и ледяным зеленым и цветовой полукруг коей определяет цветность ободка. Быстрота побеления в дальнейшем была бы здесь еще более заметна, если бы, в силу известного растяжения сине-фиолетовой половины в призматическом спектре, вся картина не была бы растянута вширь.

Цвета интерференционные. Как известно, интерференционные цвета сначала бледны, затем быстро становятся более чистыми и достигают вскоре всего своего великолепия в цветах второго и третьего порядка; дальше они опять бледнеют.

Они образуются, как известно, благодаря тому, что лучи, согласно их длине волны, попеременно, то усиливаются, то ослабляются. Периоды для различных длин волн различны и таким образом светлые и темные полосы не точно перекрывают друг друга, а отклоняются друг от друга тем более, чем больше отличаются друг от друга длины волн соответствующих лучей. С увеличивающейся разницей в длине пути эти полосы становятся уже и ближе примыкают друг к другу.

Таким образом, прежде всего, благодаря самым широким полосам, видимая область затрагивается лишь у концов и возникают с одной стороны очень бледный желтый, с другой же очень темный и серый фиолетовый. Затем расстояние становится меньше, приближается к длине

спектра и изолирует уже более узкие области, что вызывает соответственное увеличение чистоты. Когда темные полосы занимают такое расстояние, что в промежутке оставляют свободным целый цветовой полукруг, то бывает достигнута наибольшая чистота; ею и обладают цвета второго и третьего порядка. Так как расстояние полос для фиолетового и красного относятся как 3:5, то эта область довольно широка. Если же расстояния становятся еще более узкими, то они многократно пропускают пары дополнительных цветов, которые в смеси дают белый цвет и уменьшают чистоту. Это явление выражено тем сильнее, чем многочисленнее становятся полосы в спектре, так что очень скоро вся хроматичность теряется.

Мы описали явление только в самых грубых чертах. Теория же интерференции так полно развита, что можно количественно проследить каждую подробность и по этим математическим подсчетам можно ожидать и различных красивых побочных явлений, если иметь в виду учение о цветовом полукруге. Здесь же достаточно указать на то, что для таких вопросов, которые до сих пор почти не казались нам проблемами, можно получить новые об'яснения из этого учения, первоначально кажущегося столь необычным.

Светлота (Helligkeit) *полных цветов*. Теория цветового полукруга нашла себе неожиданное подтверждение в исследовании светлоты цветов, которое было произведено в свое время еще до того, как стала известна связь этого вопроса с учением о цветовом полукруге.

То, что светлота цвета меняется с изменением цветового тона, было уже давно известно живописцам, красильщикам и пр. *Гете* очень часто указывал на то, что желтый цвет самый светлый. Он приписывал наименьшую светлоту цвету дополнительному к желтому, но он все-таки окончательно так и не определил—синий ли это цвет или фиолетовый; красный и зеленый имеют средние степени светлоты.

Светлота цвета, как нам известно, зависит не только от имеющейся доли полного цвета, но и от имеющихся подмесей белого и черного. Если вспомнить общий закон о линейной формуле уравнения цветов, то мы увидим, что светлота цвета всякого тела равна сумме светлот его составных частей. Если обозначим через h светлоту данного цвета, а через h_0 светлоту полного цвета самого по себе, то получим уравнение:

$$h = V h_0 + W$$

где V есть количество данного полного цвета, а W есть количество белой подмеси. Черная часть ничего не прибавляет для светлоты, а потому и отсутствует в уравнении.

Это уравнение можно проверить, прежде всего, следующим образом. Измеряют в накрашиваниях одного и того же цветового тона, но различных по составу красок, как светлоту h, так и содержание белого. Определяя из нашего уравнения h_0, $h_0 = \frac{h - w}{V}$ мы должны получить при всех производных одного и того же цветового тона ту же самую величину для h_0, как бы ни были различны в каждом отдельном случае количества V и W. Это предположение вполне оправдалось, и тем самым мы получили подтверждение правильности нашего уравнения. Этим путем определяют светлому полных цветов без непосредственного измерения их, что было бы совершенно невозможно, так как вполне чистых цветов не имеется.

Я определил таким путем светлоту всех 100 чистых цветов цветового круга. Прежде всего я получил следующий результат: сумма светлот

двух дополнительных цветов равна единице. Учение о цветовом полукруге как раз этого и требует, так как все лучи света, имеющиеся в одном каком-нибудь цвете, как раз отсутствуют в цвете к нему дополнительном. Оба вместе должны поэтому дать светлоту белого света.

Дальше оказалось, что линия светлот имеет очень неравномерный ход. Начиная желтым 00, который является самым светлым цветом, светлота быстро падает до оранжевого 20, где она останавливается, и с красного цвета опять падает. Затем светлота остается почти постоянной до второго фиолетового и падает затем опять до наименьшей ее величины в цвете 50. За этим идет опять резкий длинный под'ем до ледяного синего 70 и затем опять три небольших изменения вплоть до желтого. Вторая половина есть зеркальное отражение первой, так как дополнительные цвета в сумме дают единицу.

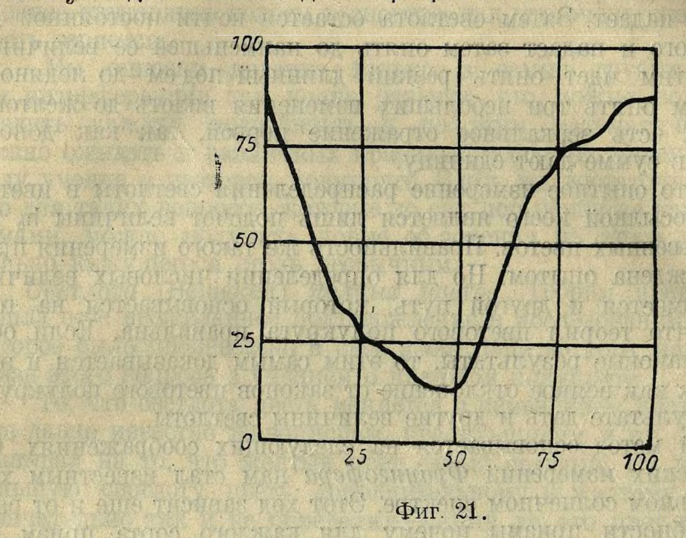
Это есть чисто опытное измерение распределения светлоты в цветовом круге, предпосылкой коего является лишь подсчет величины $\mathfrak{h}_0$ из анализа соответственных цветов. Правильность же такого измерения проверена и подтверждена опытом. Но для определения числовых величин светлот цветов имеется и другой путь, который основывается на том предположении, что теория цветового полукруга правильна. Если оба метода дают одинаковые результаты, то этим самым доказывается и эта правильность, так как всякое отклонение от законов цветового полукруга должны бы в результате дать и другие величины светлоты.

Этот второй метод основывается на следующих соображениях. Со времен классических измерений *Фраунгофера* нам стал известным ход светлот в нормальном солнечном спектре. Этот ход зависит еще и от рассеивающей способности призмы, почему для каждого сорта призм он будет различным. При подсчете же сумм всех светлот цветов, лежащих между определенными длинами волн, эта зависимость от свойств призмы исчезает, и все спектры солнечного света дают одинаковые величины. Проще всего подсчет вести от красного начала спектра до той или другой Фраунгоферовой линии, полагая общую светлоту равной единице.

Нам известны те длины волн, которые образуют цветовые полукруги, соответствующие различным цветам. Если подсчитаем соответственные числовые величины светлот, согласно вышеуказанному общему ходу их, то полученные здесь числа должны совпасть с непосредственно полученными от измерения этих величин. Я произвел такой подсчет для всех 100 цветов цветового полукруга и нашел такое ожидаемое совпадение. Так как соответственные числовые величины уже опубликованы в другом месте Physikalische Farbenlehre, S. 143), то нам нет надобности здесь еще раз их печатать. Фиг. 21 дает ход светлость, согласно результатам, полученным благодаря измерениям *Фраунгофера*. Мы видим здесь своеобразные перемены в скорости изменения светлот.

Если будем искать об'яснение этому непостоянству, то опять-таки учение о цветовом полукруге дает это об'яснение. Вспомним подобную же перемену в расположении цветовых тонов в рациональном круге спектра, где также цветовой тон в зависимости от длины волны изменяется то быстрее, то медленнее. Сразу же становится ясным, что там, где цветовые тона при продвижении по спектру быстро сменяют друг друга, к ним добавляется мало новых лучей, так что светлота при этом может измениться лишь незначительно. Наоборот, она очень сильно меняется там, где приходится пройти большие области длин волн, прежде чем дойти до ближайшего нового цветового тона. Благодаря тому, что такие влияния имеют место на обоих концах цветовых полукругов (если один конец не лежит в невидимом), и тому, что сама светлота значительно

меняется в зависимости от длины волны, отношения во всяком случае здесь становятся весьма сложными; но основное явление все же достаточно ясно. Остается еще ответить на вопрос, как произвести измерение светлоты h и содержание белого w. Это будет подробно описано во второй части книги, где излагаются практические *применения* цветоведения. Здесь будет достаточно указать на то, что соответственные способы измерения уже достаточно надежно разработаны.



Фиг. 21.

Мутная среда. Гете рассматривал цвета, которые получаются в мутных средах в качестве первичного феномена (Urphänomen) всего учения о цветах, и, поэтому, феномена не доступного об'яснению и не нуждающегося в нем. Физика его времени также не была в состоянии об'яснить эти явления. Теория же световых волн об'яснила эти явления вполне. Так как тусклые цвета часто встречаются и являются источниками красивейших явлений природы, то мы и должны здесь выяснить их основы.

Мутная среда получается тогда, если к прозрачному веществу, будь то твердое тело, жидкость или газ, примешаны мелкие частицы другого рода. На пограничных поверхностях свет отчасти отражается без претерпевания каких бы то ни было изменений в самом своем составе, в то время как другая часть света проникает более глубоко в данное вещество и претерпевает и нем отчасти ту же участь. Если слой достаточно толст, то все количество падающего света в конце концов отражается (мы предполагаем, что значительного поглощения нет), и слой вещества выглядит при рассмотрении с поверхности белым, в просвечивающем же свете черным, так как он вовсе не пропускает света сквозь себя. Если же слой недостаточно толст, то он кажется в обоих случаях серым.

Это оказывается верным лишь тогда, когда частицы, которые вызывают эту тусклость, хотя для простого глаза и малы, но все же достаточно велики по сравнению с длиной волн; граница таковых лежит около 0,01 мм. Если же они становятся настолько малыми, что их величины приближаются к размерам длины волны (приблизительно 0,0005 мм.), то они начинают оказывать свое влияние непосредственно на длину волны, в результате чего возникает та или иная хроматическая окраска.

Влияние частиц на световые волны таково, что волны более длинные меньше всего зависят в своем распространении от них, т.-е. они лучше всего проходят сквозь данное вещество. Короткие же световые волны,

наоборот, претерпевают наибольшее отражение, так как для них частицы, которые для длинных волн еще очень малы, уже достаточно велики. Поэтому, мы найдем в просвечивающем свете преимущественно длинные волны: красные, оранжевые, желтые, в то время как в отраженном — короткие фиолетовые и синие.

Всему этому учит нас опыт. Мельчайшие частицы воздуха, которые находятся впереди темного мирового пространства при солнечном освещении, дают синеву неба. Вечером же, когда свет солнца проникает к нам сквозь более толстые слои мутного воздуха, к нам проходят преимущественно длинные световые волны, и свет кажется желтым и оранжевым, вплоть до красного 25, который является здесь крайним. На слабом (однопроцентном) растворе бомбейской мастики в алкоголе, растворе выливаемом в большое количество воды и распадающемся там на мельчайшие капельки, мы можем получить одни и те же цвета как в падающем, так и в проходящем свете. Если же возьмем более крепкий раствор, и при этом капельки его в воде будут крупнее, то цвета в большей мере отражаются и в конце концов мы видим только белый и серый цвета. Наряду с этим идет и уменьшение ясности очертаний вещей, просвечивающих сквозь данный раствор. В то время, как желтые и оранжевые прозрачные слои все границы вещей очерчивают достаточно ясно, подтверждая тем, что длинные световые волны проходят через них без помехи, при более значительных помутнениях неотчетливость просвечиваемого все растет, так как все лучи света встречают препятствия на своем пути и при этом рассеиваются.

Если, имея все это в виду, прочитать у *Гете* описания многоразличных явлений, обусловленных мутными средами, то истолкование их не представит уже затруднения.

пасфор) претерпевают наибольшее отражение, так как для них частицы которые для длинных волн еще очень малы, уже достаточно велики. Поэтому мы найдем в просвечивающем свете преимущественно длинные волны: красные, оранжевые, желтые, в то время как в отраженном— короткие: фиолетовые и синие.

Всему этому учит нас опыт. Мельчайшие частицы воздуха, которые находятся впереди темного мирового пространства при солнечном освещении, дают синеву неба. Вечером же, когда свет солнца проникает к нам сквозь более толстые слои мутного воздуха, к нам проходят преимущественно длинные световые волны, и свет кажется желтым и оранжевым, вплоть до красного 25, который является здесь крайним. На слабом (однопроцентном) растворе бомбейской мастики в алкоголе, растворе вылитом в большое количество воды и распадающемся там на мельчайшие капельки, мы можем получить одни и те же цвета как в падающем, так и в проходящем свете. Если же возьмем более крепкий раствор, и при этом капельки его в воде будут крупнее, то цвета в большей мере отражаются и в конце концов мы видим только белый и серый цвета. Наряду с этим идет и уменьшение чистоты окраски полей, просвечивающих сквозь данный раствор. В то время как желтые и оранжевые прозрачные свои все границы полей сохраняют достаточно ясно, подтверждая тем, что длинные световые волны проходят через них без помехи, при более мутных помутнениях нечеткость просвечиваемого все растет, так как все лучи света встречают препятствия на своем пути и при этом рассеиваются.

Если, имея все это в виду, прочитать у Гете описания многообразных явлений, обусловленных мутными средами, то истолкование их не представит уже затруднения.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ.

ПРИКЛАДНОЕ ЦВЕТОВЕДЕНИЕ.

Отдел I.

Измерение цветов.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ.

Измерение ахроматических цветов.

Общее. Так как в предыдущем изложении мы видели, что необходимой предпосылкой методического упорядочения мира цветов является их измерение, то можно было бы предполагать, что изложение измерительных приемов должно логически предшествовать всему прочему. История науки, однако, уже сотни раз нас учит тому, что выработка методов точного измерения имеет место лишь после того, как данная наука в общем достигла уже высокой степени развития. Если при этом принять во внимание, что высокое развитие какой бы то ни было дисциплины зависит в свою очередь от имеющихся надежных измерений, то окажется, что мы находимся в круге; вспоминаешь барона Мюнхгаузена, вытащившего себя из болота за свою собственную шевелюру.

В действительности, однако, такого чуда не требуется, чтобы наука развивалась. В самом начале, где речь идет об общих и основных законах, оказываются вполне достаточными и довольно грубые измерения для того, чтобы наметились главные черты данной науки. Мы знаем, например, как *Фарадей* нашел своей электролитический закон при помощи нескольких слоев фильтровальной бумаги, пропитанной раствором иодистого калия, на которых определенное количество электричества на аноде вызвало появление иодистого пятна. После же ознакомления с общими соотношениями данной области, мы тем самым находимся уже на правильном пути и для изыскания точных методов измерений. Каждое же улучшение последних дает возможность открытия все новых и новых источников ошибок, которые при предыдущих, более грубых измерениях и не могли быть обнаружены. В то же время, наука и вообще не стоит на месте и дает нам большие возможности распознавания и избежания таких ошибок. Таким образом, чистая наука и прикладное измерение взаимно помогают друг другу. Каждое данное состояние науки обусловливает ту или иную степень точности измерений, а именно точность, лежащую в пределе еще не открытых источников ошибок. Каждое старание увеличить точность измерения дает возможность нахождения новых источников оши-

бок, и этим самым приносит и свою толику помощи делу развития науки вообще.

Так же обстояло дело и в науке о цветах. Первые измерения дали очень грубые результаты, а первые измерительные приборы были очень примитивны, и создавались из случайного материала—пробки, картона, сургуча и клея. И я долго преднамеренно сохранял это же первоначальное состояние. В прибор уже изготовленный механиком не так легко внесешь то или другое изменение, как в аппарат домашнего приготовления, сделанный из пробки и картона. Научные приборы имеют также свою историю развития, как и живые существа. Целый ряд недостаточно приспособленных форм погибает, пока один из них в победоносной борьбе за существование не добьются права на долгое бытие. А поэтому хорошо сначала иметь прибор в черном виде, сделанным из менее прочного материала, раньше чем придать ему физически постоянную форму из стали или латуни.

Поэтому, я довольно долгое время пользовался нижеописанным полутеневым фотометром, приготовленным из картона со шкалами из бумаги и передвижкой от руки, и получил при его помощи все же довольно хорошие измерения. Малая твердость материала, из которого состоял мой первоначальный измерительный прибор, заставила меня обратить самое большое внимание, на основательное устранение источников ошибок и не надеяться здесь лишь на искусство механика, которое бы могло обезвредить неудачную конструкцию.

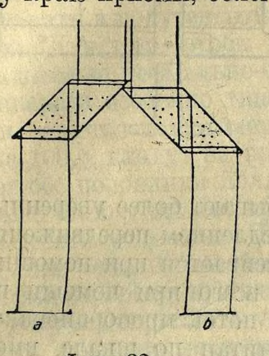
Таким образом, мне удалось все те формы прибора, которые оказались нежизнеспособными, пройти за время «картонного возраста» моего аппарата, когда они, конечно, и не вызывали сколько-нибудь больших издержек. После же этого—сконструированная, согласно всем правилам искусства,—форма прибора оказалась жизнеспособной и сохранила на долгое время свой вид.

Я подробно и долго остановился на этих вопросах потому, что они в настоящее время имеют гораздо большее значение, чем десять лет тому назад. Тогда изготовление приборов механиком было довольно дешево, и изготовление аппаратов своими средствами вызывалось не столько внешней необходимостью, сколько привычкой, сохранившейся у меня от времен ранней молодости, когда я все мои научные страсти должен был удовлетворять при минимальных материальных затратах. В настоящее же время наука в Германии работает при весьма стесненных обстоятельствах, так как необученный рабочий требует для себя несоответственно большую часть народного достояния, а наука же, о которой он не имеет представления, должна жить в нужде. Мы должны поэтому в настоящее время внимательно следить за тем, чтобы с наименьшими затратами материальных средств дать в идейном отношении наилучшее для того, чтобы наиболее ценная продукция нашего народа, т.-е. наша наука, которая и определяет прочно наше место в семье других народов, не потерпела бы ущерба.

Полутеневой фотометр. Измерение ахроматических цветов есть задача фотометра, и задача эта вполне может быть разрешена при помощи уже существующих у нас приборов, если только мы уясним себе здесь основную проблему. Однако, эти приборы, главным образом, приспособлены все же к измерениям абсолютной силы света ламп, свечей и т. д., в то время, как мы здесь имеем дело с величиной отражения света, т.-е. с относительной силой света. Поэтому, устройство наших приборов можно очень упростить.

В другом месте (Physikalishe Farbenlehre, 2 aufl. S. 78) я подробно изложил различные возможности решения этой задачи. Повторять здесь это нет надобности. Будет вполне достаточным, если мы здесь опишем ту форму, которую в последнее время принял наш измерительный прибор.

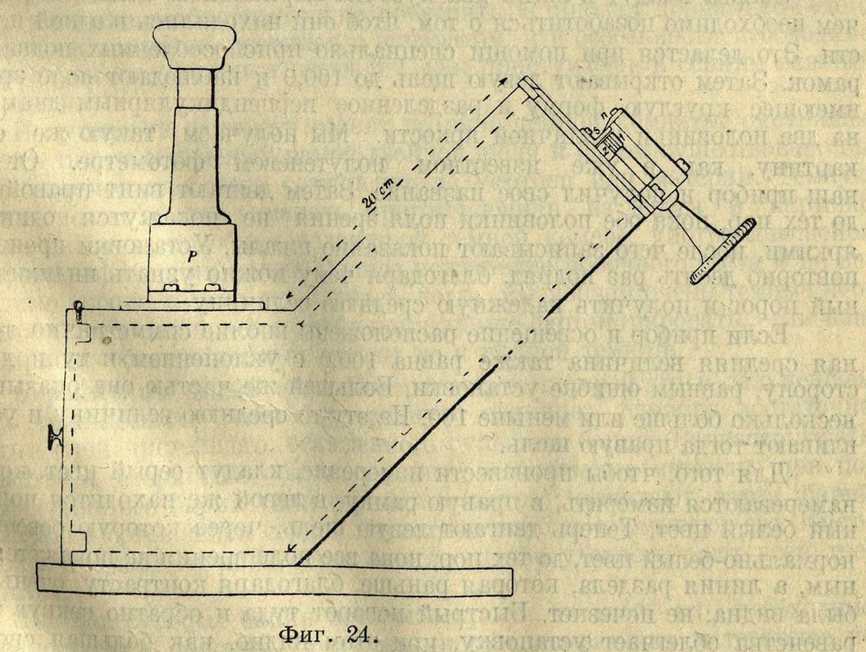
Полутеневой фотометр состоит из непрозрачного двойного ящика, который продольной стенкой разделен пополам. Исследуемые цвета кладутся внизу, на дно прибора. В крышке находится двойная призма колориметра Вольфа (фиг. 22), которая и передает свет обоих цветов в наше поле зрения, где они заполняют два полукруга, плотно примыкающих друг к другу (фиг. 23). Подвижная лупа, которая приспособлена к верхнему краю призмы, облегчает рассматривание.



Фиг. 22.

Фиг. 23.

Оба сравнимаемых цвета освещаются через наклонно стоящую и разделенную вдоль надвое трубу (фиг. 24), которая наверху заканчи-

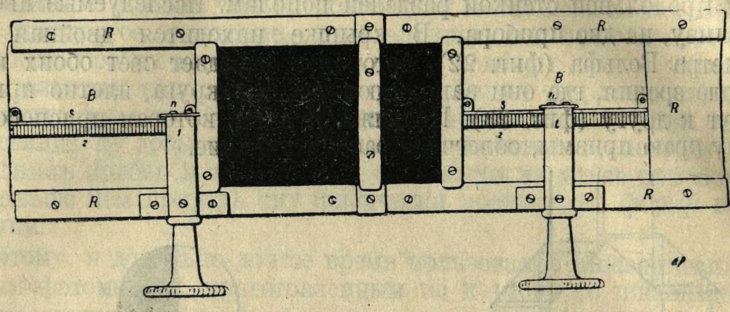


Фиг. 24.

вается двумя сдвигающимися и раздвигающимися щелями. Труба эта образует угол в 45° с горизонтальной плоскостью, согласно тому общему правилу, что наблюдение и измерение всех поверхностей должно быть

производимо при смотрении на них перпендикулярно, освещаться же падающим светом они должны под углом в 45°.

Для фотометрирования служат две щели, находящиеся наверху трубы. Они высотою в 50 мм. и могут быть раздвинуты несколько больше, чем на 50 мм. (фиг. 25). Измерения ширины щелей производятся посред-



Фиг 25.

ством зубчатки и винта, так как установки бывают более уверенными при быстром движении в обе стороны, чем при медленном передвижении только винтом. Падающий свет равномерно рассеивается при помощи какой-нибудь рассеивающей поверхности, лучше всего при помощи пропарафиненной бумаги. В таком случае световой поток пропорционален величине поверхности щели и может быть отсчитан по шкале, имеющейся при подвижной пластинке щели. Эта шкала разделена на сто половинок миллиметра; десятичный нониус дает возможность отсчитывать 0,001 наибольшей величины щели.

Сперва кладут в ящик два кусочка нормального белого цвета, при чем необходимо позаботиться о том, чтоб они находились в одной плоскости. Это делается при помощи специально приспособленных подвижных рамок. Затем открывают левую щель до 100,0 и наблюдают поле зрения, имеющее круглую форму и разделенное перпендикулярным диаметром на две половинки различной яркости. Мы получаем такую же самую картину, как в уже известном полутеневом фотометре. От него наш прибор и получил свое название. Затем двигают винт правой щели до тех пор, пока обе половинки поля зрения не покажутся одинаково яркими, после чего записывают показание шкалы. Установки производят повторно десять раз подряд, благодаря чему можно узнать индивидуальный порог и получить надежную среднюю величину.

Если прибор и освещение расположены вполне симметрично, то данная средняя величина также равна 100,0 с уклонением в ту и другую сторону, равным ошибке установки. Большей же частью она оказывается несколько больше или меньше 100. На эту-то среднюю величину и устанавливают тогда правую щель.

Для того, чтобы произвести измерение, кладут серый цвет, который намереваются измерить, в правую рамку, в левой же находится нормальный белый цвет. Теперь двигают левую щель, через которую освещается нормально-белый цвет, до тех пор, пока все поле зрения не покажется равным, а линия раздела, которая раньше, благодаря контрасту очень ясно была видна, не исчезнет. Быстрый поворот туда и обратно вокруг точки равенства облегчает установку, при этом видно, как бо́льшая светлота переходит при этом то туда, то обратно, как переворачиваемые листы книги. Отмечают сделанные установки, отсчитывают по шкале и повторяют измерение для того, чтобы ошибка стала меньшей. Большей частью достаточно бывает пяти или трех измерений.

Часто ошибки вызываются последовательными образами, оставляемыми очень неравномерно освещенным полем зрения. Так как большей частью яркость измеряемого цвета нам заранее приблизительно известна, благодаря сравнению с маленькой шкалой серых цветов, которое можно произвести в один момент, то щель устанавливают с приблизительной точностью уже раньше, чем заглядывают в аппарат; в таком случае последовательные образы бывают незначительны. Если даешь отдохнуть глазу, то эти изображения исчезают меньше чем в одну минуту. Лица, у которых последовательные образы держатся долго, менее приспособлены к такого рода измерениям.

Если мы оставляем карточку нормально-белого цвета на долгое время лежать в полутеневом фотометре, то она темнеет и становится уже неверной. Для того, чтобы выгадать время, которое тратится на частое перекладывание нормально-белого цвета, можно оставлять на левой стороне аппарата особенно тщательно накрашенную белую поверхность, которая и остается в фотометре на долгое время. Затем открывают левую щель на 100,0, кладут на правой стороне нормально-белый цвет и устанавливают обе половинки поля зрения на равенство таким же образом, как то раньше было указано; при этом надо брать среднюю цифру, получаемую из десяти установок. После этого можно оперировать с левым белым так же, как если бы он был нормально-белым. Только необходимо, при этом, время от времени; вкладывать опять нормально-белый цвет на правую сторону и поправлять установку, если белый, находящийся на левой стороне, с течением времени покрывается пылью, благодаря чему становится несколько темнее. Это случается в начале быстро, затем же совсем незначительно. Иногда освещение, несмотря на наличие рассеивающей ширмы, зависит от положения солнца, а именно тогда, когда наружи большие различия светлот распределены несимметрично. Поэтому в начале необходимо чаще проверять установки нормально-белого цвета, пока вполне не освоился с аппаратом, и в особенности необходимо контролировать установки перед тем, как приступаешь к сериям важных измерений.

Полутеневой фотометр ставят на окно темной комнаты, смотрящее на север так, чтобы между рамой двойной щели и окном существовало бы непроницаемое для света соединение из картона или материи. Темную комнату может вполне заменить, приготовленная из дерева и картона, темная палатка, подобная подвижной темной камере, употребляющейся для фотографических целей. Полное устранение побочного света и не необходимо (кроме только тех случаев, когда мы меряем очень темные черные поля), так как более светлые поля лучше фотометрировать, если наш глаз приспособлен в данный момент не к полной темноте.

Нормальный белый цвет. Поверхностью, которой мы в дальнейшем будем приписывать светлоту равную единице, служит достаточно толстый слой чистейшего, осажденного сульфата бария (Permanentweiss). Из раствора хлористого бария удаляют все тяжелые металлы при помощи сернистого бария (или сернистого натра); осаждают, затем, барий при помощи оставшейся серной кислоты и хорошо промывают его. Имеющиеся в продаже лучшие сорта бария вполне удовлетворяют всем требованиям.

Так как сульфат бария нехорошо кроет, то слой его необходимо взять достаточно толстым, брать же много связывающих материалов не следует. Наиболее радикальным является, конечно, совет *В. Дугласа* применять белое вещество в виде порошка, насыпанного в блюдце; поверхность его должна быть при этом выравнена накладыванием на него матового стекла. С 2% раствором белой желатины достигают, однако, доста-

точную вязкость, что дает нам все удобства твердого слоя. Поверхность, на которую краска наносится, полезно предварительно покрыть цинковыми белилами (светлота 0,95). Добиться достаточно толстого слоя (по крайней мере в 5 слоев) и притом гладкой поверхности при помощи кисти не легко; она должна быть в конце концов отшлифована какой-нибудь гладкой поверхностью, чтобы отдельные мазки кисти исчезли. Германские мастерские цветоведения (Deutsche Werkstelle für Farbkunde, Дрезден, улица Шиллера, 35) доставляют вполне пригодный нормально-белый, вырабатываемый согласно данным работ *А. Лагорио*.

Раньше было указано, что для текущей работы можно пользоваться и каким-нибудь промежуточным белым и что полутеневой фотометр позволяет учесть и поправить всякое такое отклонение от нормально-белого. Таким путем и можно карточку с нормально-белым цветом долгое время оставлять неизменной. Для того же, чтобы быть вполне уверенными в результатах своей работы, необходимо обзавестись двумя пробами нормально-белого цвета, из которых одна всегда находится в прикрытом от пыли месте, и только в редких случаях употребляется для того, чтобы убедиться, не изменилась ли от пыли вторая нормально-белая карточка, коей пользуются постоянно. Таким образом, можно обеспечить себе на долгие годы постоянство основной величины, необходимой для измерений.

Шкалы серых цветов. Хотя измерения полутеневым фотометром и не требуют больших затрат времени и труда, все-таки весьма желателен прибор, который дал бы возможность производить достаточно точные измерения совсем быстро и легко, в ходе повседневной работы. Это важно еще и потому, что многие предметы, благодаря своей величине, не могут поместиться в вышеописанном фотометре.

Это задание разрешается употреблением *шкал серых цветов*, т.-е. подборов серых цветов, точно измеренных и фиксированных, которые позволяют определить другие светлоты путем непосредственного сравнения.

Такие шкалы могут содержать полностью все те нормы, которые были указаны нами выше; такие нормы служат по большей части для подгонки цветов под норму и для контроля их в этом отношении. Или же они должны служить для общего определения светлоты или белизны данного цвета; тогда они содержат более узкие ступени, выражающиеся округленными дробями, между которыми очень легко произвести интерполяцию.

Для того, чтобы приготовить требуемые ступени серых цветов, имеется следующий основной прием. Изготовляют для данной отрасли техники (штукатурки, крашения и т. д.) целый ряд серых цветов с определенным содержанием красителя, и белезину измеряют при помощи полутеневого фотометра. Затем наносят на миллиметровой бумаге с одной стороны содержание данного красителя, а с другой стороны белые компоненты каждого цвета и соединяют полученные таким образом точки непрерывной линией. Из рассмотрения полученной таким образом кривой можно заключить, сколько надо взять красителя, чтобы получить желательный белый цвет. Приготовляют соответственные смеси, проверяют их точность посредством фотометра, вносят в них поправки, если это необходимо, и получают, таким образом, в конце концов требуемые рецепты смесей, с помощью которых можно приготовить вышеупомянутые ступени серой шкалы.

Так как смеси из белых и черных красящих веществ обыкновенно не дают чистого серого цвета, а, благодаря содержанию синего в мутных средах получается цвет синевато-серый, то необходим метод, который гарантировал бы действительно нейтральный тон цветов. Этот метод и дан

полутеневым фотометром, так как затененный белый кажется нейтральным серым, по сравнению с освещенным. Испытуемый серый цвет кладут, поэтому, в фотометр и устанавливают на одинаковую светлоту; тогда легко судить: нейтрален ли данный цвет или же в каком-нибудь направлении уклоняется от ахроматичности.

Как пример, возьмем следующий случай, чаще всего встречающийся на практике, а именно, когда серый цвет берут в виде обыкновенной кроющей краски. В качестве красителя берем цинковые белила или литопол, костяной порошок, слоновую кость, франкфуртскую черную, или какую-нибудь другую угольную черную. Сажа не годится для той цели, так как с ней возникают трудности при намазывании. Приготовляют, по весу, смесь, имеющую светлоту приблизительно равную 0,1 (ступень 1 в шкале), для чего берут, примерно, одинаковые доли черного и белого, и этой смесью при помощи соответственного связующего материала (напр. 6% раствора клея) покрывают поверхность. Если мы теперь исследуем эту накрашенную поверхность полутеневым фотометром, то она покажется явственно синеватой.

Теперь прибавляем, опять-таки по весу (начиная с 10%), темно-желтый краситель (желтую охру), тон которой должен быть дополнительным к тому, который мы желаем уничтожить. Опытное испытание покажет много ли или мало мы его взяли. В зависимости от таких результатов приготовляют другие смеси, с содержанием добавляемой краски на один процент больше или меньше предыдущего. Таким путем находят то количество прибавки, которое необходимо для получения нейтрального темно-серого.

Практика показала, что при прибавлении белого к таким «исходным цветам» нейтральный цвет вполне сохраняется. Таким же образом можно получить нейтральные темные ступени, при помощи смешения исходного цвета с чисто черным красителем.

Из исходного цвета приготовляют, при помощи прибавления отвешенных количеств белого, все ступени геометрического ряда ½, ¼, ⅛. . . . . ($\frac{1}{2}$) , вплоть до белого, и измеряют их фотометром. При этом можно убедиться и в том, нейтральны ли все данные цвета; в случае необходимости их подправляют путем уменьшения или увеличения подмеси желтой охры. Полученные при измерении величины белого цвета наносят на миллиметровую бумагу, над точками, обозначающими количество подмеси красителя в смеси. Для этой цели служит лучше всего логарифмическая бумага, на которой мы получаем почти прямые линии. Полученные при таких измерениях точки соединяют между собой посредством главной кривой, при чем обнаруживаются все ошибки как измерения, так и исчисления. Из полученной кривой, в конце концов, берутся величины подмеси красителя, соответствующие той или иной ступени белого. Эти величины затем изготовляются, измеряются и исправляются, если это необходимо.

Совершенно так же поступают и со смесями данного исходного цвета с черным, дающими ступени, лежащие ниже 0,1. В этом случае число точек меньше, чем в предыдущем ряде.

Работа осложняется тем, что белое какой-нибудь смеси зависит от времени и силы, с коей краски растираются; благодаря трению, они становятся более темными. Нужно, поэтому, регулировать характер и продолжительность этого растирания, если хочешь получить правильные результаты. Необходима постоянная промерка в полутеневом фотометре. Имеет также большое значение и количество связывающего вещества: чем его больше, тем цвет накрашивания становится темнее. Бла-

годаря всем этим влияниям работа становится нелегкой и может выполняться лишь людьми достаточно в этом опытными.

Измерение блеска. Так как полутеневой фотометр дает возможность удобного и точного измерения блеска, то необходимо здесь же дать описание и этого метода. Этот способ был введен в практику *В. Дугласом.*

Понятие блеска основывается на представлении о зеркальном отражении. Его числовые величины получаются при измерении количества света, которое отражается под углом падения, сверх обыкновенного, рассеянно отраженного света. Это количество света и относительно зависит от угла падения: необходимо, поэтому, представлять себе его как функцию углов падения. Но можно для первого приближения взять и какой-нибудь один угол за норму и измерить зеркальное отражение для него. Практика в целях большей простоты и предпочитает этот второй способ измерения.

В основу измерения блеска мы берем угол в $22\frac{1}{2}^0$, так как он является половиной угла 45^0, который имеется в нашем фотометре между углом падения и направлением взора наблюдателя. Этот угол в $22\frac{1}{2}^0$ и имеется нами в дальнейшем в виду.

Кладут с одной стороны пробный цвет, как обычно, с другой же стороны кладут его так, чтобы плоскость его составляла бы угол в $22\frac{1}{2}^0$ с горизонталью. Эта сторона кажется нам тогда более светлой и при помощи измерения ширины соответствующей щели мы получаем меру блеска данного цвета.

Так как количества зеркально отраженного света от блестящих поверхностей бывают очень большими, то щель приходится устанавливать очень узкой. Благодаря этому могут возникнуть ошибки, так как щель может оказаться слишком с боку. Поэтому, гораздо лучше при помощи черной, поставленной спереди, проволочной сетки ослабить количество падающего в фотометр света; при таких условиях можно щель сделать соответственно шире. При помощи измерения с нормальным белым с обеих сторон можно легко определить ослабление света, производимое проволочной сеткой. Также нужно бывает иметь под руками для разных случаев более густые и более редкие сетки, чтобы постоянно пользоваться щелью средней ширины.

При таких измерениях мы часто все же не получаем полного равенства цвета в обеих половинках поля зрения. Вскоре привыкаешь, однако, не обращать внимания на разницу в цветовом тоне и устанавливаешь на равенство по светлоте, независимо от существования первой..

Теоретически можно различать абсолютный блеск от относительного. Абсолютный блеск определяется из отношения количества света отраженного от данной поверхности к количеству света отраженному от матовой нормальной белой поверхности, которая находится на том же месте. Величина абсолютного блеска (вплоть до множителя—косинуса) находится из измерений сравнительных с нормальным белым цветом. Относительный же блеск определяется отношением количества света зеркально отраженного от данной поверхности к количеству света так же отраженного какой-либо матовой поверхностью, в остальном имеющей те же свойства, что и наша, измеряемая. Для того, чтобы найти эти количества, нужно измерить соответствующие поверхности, находящиеся в обыкновенных условиях (45^0 угол освещения, 90^0 угол наблюдения). Можно также найти их из сравнения с горизонтально положенной пробой того же цвета. Для практических целей нам вполне достаточно иметь дело лишь с относительным блеском, а поэтому выше нами описаны методы его измерения. Ниже указаны некоторые числовые величины блеска по данным *В. Дугласа.* Числа обозначают разность между светлотой данного пред-

мета при рассматривании под углом зеркального отражения и тою светлотой, каковую он имеет в условиях нормального рассматривания.

Черное матовое накрашивание	1,6
Белый бархат	25
Бельевая ткань	31
Шлифованное нормально-белое	36
Машинная бумага	40
Саржа мерсеризованная	65
Бумага для художественной печати	118
Искусственный шелк	171
Лакированная поверхность	380
Стекло на черном бархате	660
Серебряная бумага	1000
Цинковая жесть обыкновенная	1900
Цинковая жесть полированная	8400
Листовое олово	8900

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ.

Измерение цветового тона.

Общее. После нашего краткого обзора метода измерения ахроматических цветов, мы можем перейти к разрешению задачи измерения элементов цветов хроматических. Здесь прежде всего встает вопрос об определении *цветового тона*, а затем об измерении количеств содержащейся в цвете белой и черной подмеси.

О двух цветах мы можем сразу и с уверенностью сказать, что они одного и того же цветового тона только в том случае, если они содержат одинаковые количества черного и белого цвета. Только при соблюдении этого условия они вполне равны и это равенство есть первое условие измерения. Если, поэтому, мы желаем базироваться в наших измерениях, на таких равенствах, то нам надо подыскать средства, которые дали бы нам возможность создавать равенство количеств белого и черного цвета. Если это условие выполнимо, тогда можно судить, совпадает ли цветовой тон данной поверхности с той или иной нормой или же не совпадает. Если эти цвета не совпадают, то необходимо взять другой нормальный цвет, сточленного цветового круга и повторить определение. При равенстве цветов в отношении белого и черного можно без труда видеть, в какой области цветового круга надо искать правильный цвет. Если, например, идет вопрос о красном цвете, то достаточно бывает одного взгляда, чтобы определить желтее или синее данного цвета выбранный нами нормированный цвет. Для измерения нам необходим прежде всего правильно разделенный цветовой круг в форме накрашиваний, наклеенных тканей, ниток и т. п., а затем необходимо приспособление для регулирования количеств белой и черной подмеси, безразлично,—в данной ли пробе или в нормальном цвете. Если мы установим полное тождество, то цвет пробы имеет тот же тон, что и нормальный цвет.

Такой метод определения цветового тона может быть назван *прямым методом*.

Косвенный прием определения цветового тона. Наряду с этим прямым способом имеется и косвенный. Для каждого цвета существует только один единственный дополнительный цвет, в смеси с которым он дает ней-

трально-серый цвет. Все другие цвета дают хроматические подмеси. Если же мы найдем при помощи нормального цветового круга дополнительный цвет к данному цвету, то этим самым мы уже знаем, что данному цвету принадлежит тот цветовой тон, который находится против дополнительного цвета, т.-е. тот, который удален от него на 50 ступеней сточленного цветового круга. Но и при этом способе недостаточно только просто смешивать два цвета. Два цвета дают серый цвет только при вполне определенных количественных соотношениях их в смеси. При всех же иных соотношениях получается хроматический излишек того или другого цвета. Необходимо, поэтому, иметь такое приспособление, которое позволило бы нам каждый раз установить это нужное соотношение, и другое приспособление, при помощи которого можно получать другое серое, по светлоте равное серой нашей смеси, так как эта серая смесь может в зависимости от смешанных цветов быть светлее или темнее. Ибо для того, чтобы определить, является ли данный серый цвет нейтральным, необходимо, чтобы в том же поле зрения находился другой нейтральный серый цвет одинаковой светлоты, непосредственно граничащий с тем серым, который мы исследуем. Необходимо поэтому принять соответственные меры, чтобы эти условия были выполнены.

Как можно видеть, измерение цвета есть задача совсем другого порядка, чем определение веса, температуры или электрического сопротивления. Все эти величины одномерны. Они могут быть лишь больше или меньше, чем данная величина, но не дают каких-либо других изменений. Два цвета же, наоборот, могут иметь вполне одинаковые цветовые тона и при этом выглядеть все же совершенно различно. Рассматривая цветовой треугольник одного цветового тона, приходишь к выводу, что возможные здесь различия суть различия двухмерные, так как для изображения их достаточно плоскости. Даже тогда, например, когда цветовой тон у цветов одинаков и содержание белого цвета тоже одинаково, цвета все-таки могут быть неодинаковыми, так как содержание черного цвета может быть различным и цвет будет лежать в разных местах равнобелого ряда цветов в треугольнике. Только тогда, когда количества белого и черного одинаковы, может наступить полное тождество цветов.

Нужно только себе представить все эти трудности для того, чтобы понять, почему так долго не был найден способ измерения цветов; пока существовала неясность в вопросе об элементах всякого цвета вообще не могло быть и речи о решении этого вопроса. Одним из решительных доказательств правильности основного анализа цветов на цветовой тон, содержание белого и содержание черного является то, что на основании такого анализа найдены были способы измерения цвета. Мы при этом наталкиваемся, однако, на одну трудность. При других измерениях искомую величину находят посредством простой линейной перестановки, как это имеет место у одномерных величин (изменения возможны лишь в одном направлении между слишком много и слишком мало). У цвета же мы имеем три переменные величины. При изменении одной величины меняются по большей части и две другие, если же мы установили вторую, то могут в это время перемениться первая и третья и т. д. Здесь поэтому нельзя итти к цели по одному направлению, но лишь постепенными приближениями к ней со всех сторон. Необходимо проделать поэтому постепенно целый ряд определений в одном каком-нибудь направлении, вернемся затем обратно к первой величине, которая при этих определениях изменялась, исправляют и эту величину, а затем и другие величины и повторяют эти определения до тех пор, пока все не окажется хорошо согласующимся. Это все такие трудности, с которыми мы, в столь сложной форме, не встречаемся ни в какой другой области измерений.

Прямой метод определения. Прямой измерительный метод, основывающийся на сравнении двух одинаковых цветов, имеет своей предпосылкой такое приспособление, при котором можно было бы,—сохраняя неизменным цветовой тон,—постепенно менять содержание белого и черного. В настоящее время нет такого способа, который дал бы возможность это осуществить. При регулировании освещения и затенения, например, посредством полутеневого фотометра, хотя и можно постепенно менять содержание белого и черного нормального цвета, но только оба одновременно и только таким образом, что полученные цвета теневого ряда идут параллельно стороне W—S однотонного треугольника. Если мы на другой стороне фотометра положим цвет, который желаем измерить, то таковой можно менять только в пределах его ряда затененности. Оба ряда по необходимости параллельны, т.-е. никогда не пересекаются и никогда не дают равенства цветов, если цвета заранее не принадлежат одному цветовому ряду.

Для того, чтобы ряды пересекались, нужно иметь возможность менять содержание белого и черного по отдельности. Этому может служить отражение белого цвета. Если между глазом и цветом поставим стеклянную пластинку, которая количественно измеряемым образом отражает свет в наш глаз (чего можно достичь разными путями), то можно менять данный цвет так, что содержание белого в нем будет увеличиваться или уменьшаться, в то время, как отношение полный цвет: черный останется неизменным. Полученные, таким образом, цвета, лягут на одной прямой идущей от белого угла аналитического треугольника через точку данного цвета. Для того, чтобы эту прямую сделать по возможности длинной, надо, чтобы цвет возможно близко подходил к стороне полный цвет—черный, т.-е. его нужно выбирать повозможности из темно-чистых цветов. Тогда его в общем можно бывает привести в пересечение с рядом затененности сравниваемого цвета, т.-е. оба цвета могут быть сделаны вполне равными.

Это указание вполне достаточно, чтобы наметить путь к созданию такого прибора для прямого измерения цветового тона. Так как до сих пор мы еще не имеем такого аппарата, то не будем дальше и распространяться об этом.

Практический прием. Измерение цветового тона при помощи смеси с дополнительным и получения нейтрального серого цвета в настоящее время, в противоположность прямому методу определения цветового тона, достаточно хорошо развито и имеет широкое и постоянное применение.

Также и здесь надо иметь в виду непрерывное изменение трех переменных. Эти переменные суть следующие: 1) цветовой тон сравниваемой краски, 2) отношение количеств обоих цветов в смеси и 3) светлота получающегося нейтрального серого цвета.

Самое простое решение этой задачи состоит в применении вращающегося диска для смешения цветов. Если разрезать по радиусу круги, приготовленные из крашеной в какой-либо цвет бумаги, то можно два круга вставить друг в друга и так их надвигать один на другой, что величины соответствующих секторов будут находиться в любом отношении друг к другу. Таким путем можно найти и то отношение, при котором смешиваемые два цвета дадут нейтральный серый цвет.

Серый для сравнения можно получить, поместив на ту же самую ось два меньших диска, вдетых друг в друга и выкрашенных в белый и черный цвета. Они дают уже безусловно нейтральный серый цвет и при помощи изменения величины черного и белого секторов можно получить любую светлоту.

Как видим, это почти то же расположение опыта, что было и у *Максвэлла*, с той только разницей, что здесь берут не три, а только два больших цветных диска. Так как в настоящее время необходимое вращение можно очень просто получать при помощи маленького электро-мотора, то вся задача оказывается вполне разрешимой.

Между тем все же при проведении таких измерений остаешься ими неудовлетворенным. Каждый раз, когда хочешь переставить наружные или внутренние диски, приходится остановить мотор. Так как при этом не сразу находишь дополнительный цвет, то приходится много раз менять нормальный цвет. Каждое измерение, поэтому, продолжается очень долго, а при затруднительности подбора рискуешь остановиться на не вполне надежных результатах, лишь бы не затрачивать на одно измерение непомерно много времени.

Опыты такого рода, поэтому, очень хороши для демонстрации принципа, но неудобны для беглой работы. Для таковой прибор должен быть более удобным, чтобы энергию, выигрываемую благодаря лучшей технике, нам можно потратить на главную цель, т.-е. на самоизмерение, и осуществить его с наивозможной точностью.

Поми. Всем этим требованиям вполне удовлетворяет поляризационный смешиватель цветов («Polarisationsfarbenmischer»), сокращенно называемый «Поми», который я изготовил в 1915 году и который получил уже ныне широкое распространение. Его конструкция основывается на следующем.

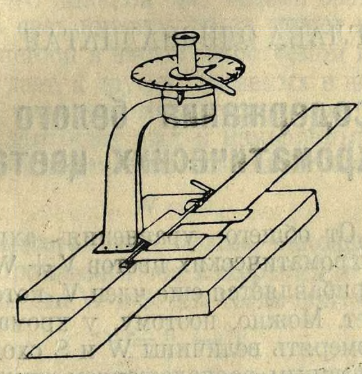
При помощи призмы из известкового шпата (лучше всего в форме *Волластоновой* призмы), получается по два изображения, как от карточки данного цвета, так и от рядом лежащей карточки нормального цвета с ним смешиваемого. Призму устанавливают на таком расстоянии и в таком положении, чтобы оба средних изображения покрывали друг друга. При их рассмотрении мы увидим, следовательно, цвет смеси, состоящей из одинаковых частей обоих цветов.

Для того, чтобы иметь возможность брать эти части в любом количественном соотношении, мы помещаем над Волластоновой призмой поляризатор в форме призмы *Николя*. Оба изображения, выходящие из известкового шпата, как известно, поляризованы под прямым углом друг к другу, и если мы обозначим через A угол между главными сечениями обеих призм, то сила света двух изображений будет равна для одного $\sin^2 A$, и для другого $\cos^2 A$. В зависимости от угла поворота Николя, все величины силы света обоих изображений могут лежать между 0 и 1. Их соотношения, поэтому, внутри каждого квадранта принимают любую величину. Этим самым разрешается задача смешения цветов в любом количественном соотношении.

Для того, чтобы контролировать полученный серый цвет, насколько он является действительно ахроматичным,—в нижней половине поля зрения вставляют серую карточку, приблизительно, той же светлоты, что и данная смесь. Для того, чтобы удовлетворить всем возможным случаям, необходимо иметь в запасе большое число таких серых карточек от светло-серого до темно-серого цвета. При этом необязательно измерять их светлоту, необходимо лишь позаботиться об их ахроматичности. Окончательного выравнения по светлоте достигают благодаря тому, что карта находится на площадке подвижной горизонтальной оси; в зависимости от ее положения по отношению к свету она может казаться то более светлой, то более темной.

Для того, чтобы возможно было бы сравниваемые цвета переменять быстро и удобно,—что весьма облегчает и делает более уверенными измерения,—их размещают друг возле друга на одной общей подкладке, кото-

рую можно передвигать под прорезанной площадкой, на которой лежит определяемый цвет. Если дополнительный цвет приблизительно найден, то снова регулируют угол призмы Николя и светлоту серого цвета, путем передвижения общей подкладки вправо и влево и наблюдения за цветами, которые при этом появляются; благодаря этому, можно найти с большой уверенностью действительно нейтральную середину.



Фиг. 26.

Фиг. 26 представляет собою простейшую форму Поми, которая пригодна для большинства измерений. На нем видна доска основания с прорезанным столиком, под которым можно передвигать направо и налево шкалу цветовых тонов. Над этим в подставке помещается трубка призмы. Поварачивание призмы Николя производится при помощи ручки. Напротив ручки находится подвижная стрелка, которая двигается по градусным делениям, по которым и отсчитывают угол поворота Николя, знание чего необходимо для измерений. Внизу над отверстием, прорезанным в столике, находится поворачивающаяся подставка для карточек с серыми цветами.

Так как штатив прибора можно использовать и для измерений подмесей белого и черного, то трубка призмы вставлена так, что ее легко можно вынуть; имеющаяся зазубрина обеспечивает ей всегда одно и то же положение. Для тех случаев, когда цвета даются не в виде карточек или пластинок, штатив прибора должен быть соответственно изменен; мы не считаем нужным давать здесь описание таких изменений.

Шкалы цветовых тонов. Все сто цветов цветового круга разделены на пять полосок по двадцати цветов в каждой, так как одна полоса при величине отдельного поля в 2—3 снт. была бы слишком большой. На обоих концах имеются добавочные пограничные поля для того, чтобы иметь возможность сравнения с соседними цветами. Так как краски, благодаря своей чистоте, не могут все не изменяться под влиянием света, то полоски необходимо сохранять в коробке всегда закрытой и вынимать их на свет лишь на столько времени, сколько необходимо для производства измерения (т.-е., обычно, на несколько минут).

Нормы цветовых тонов имеются в продаже и являются точными копиями моих первоначальных норм, выработанных мною в 1916 году. Они согласованы со спектром, благодаря тем измерениям, о которых уже была речь выше. Таким образом, они вполне определены навсегда, вне зависимости от сохранения первоначальных образцов. Если в будущем будут найдены более точные деления, то все же измерения были произведены при помощи этих старых делений, можно будет путем простого пересчета с полной уверенностью в их точности перевести на новые деления, как только в этом будет какая-нибудь необходимость.

Сейчас, однако, предстоит проделать так много более элементарных еще работ, что обоснованная потребность в более точных цветовых нормах может возникнуть лишь позже.

Подобного рода измерениями цветового тона мы сделали уже первый шаг в деле измерения цветов.

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ.

Измерение содержания белого и черного в хроматических цветах.

Основная мысль. От общего уравнения ахроматических цветов $W + S = 1$, уравнение хроматических цветов $V + W + S = 1$, отличается только тем, что в них прибавляется еще член V, который представляет собою хроматический цвет. Можно, поэтому, у хроматических цветов, как и у ахроматических, измерять величины W и S сходным же путем. Необходимо лишь соответственным расположением опыта выключить усложняющее влияние собственно цветного компонента.

Это и удается благодаря применению *светофильтров.* Чисто красная бумага под красным стеклом выглядит такой же светлой, как и белая бумага. Белая бумага отражает все лучи света: сквозь же красное стекло проходят только красные лучи, но полностью. Красная же бумага, которая находится под красным стеклом, отражает полностью все красные лучи. Эти лучи не меняются при обратном прохождении от присутствия на их пути красного стекла, так как красное стекло пропускает, как сказано, полностью все красные лучи без изменения. Следовательно, обе бумаги посылают сквозь стекло одинаковое количество света, а потому и покажутся нам одинаково светлыми. Если же цвет красной бумаги не чистый, а содержит в себе подмесь белого, то явление остается тем же самым, так как белая часть влияет так же, как и красная. При помощи красного светофильтра можно, поэтому, найти сумму красного и белого, но не величину каждого из них в отдельности.

Если же красный цвет бумаги содержит в себе некоторое количество черного, то отношения уже меняются. Черная часть вообще не отражает никакого света, а потому она не отражает и красного цвета. Красная бумага с подмесью черного цвета будет выглядеть через красный светлофильтр темнее, чем белая бумага, и покажется нам равной некоторому серому цвету. Оба они будут содержать в таком случае одинаковое количество черного—имеется ли наряду с черным белое или лишь цветное красное—здесь безразлично. Если нам известно содержание черного цвета в этом сером или мы можем его измерить, то этим самым мы можем определить также и количество красного цвета.

То, что мы здесь сказали о красном цвете, применимо также и ко всякому другому цвету. Этим самым мы имеем общий способ, позволяющий нам измерять подмесь черного в любом цвете: рассматривая данный цвет через соответствующий ему по цвету светофильтр, мы подыскиваем тот серый цвет, который (сквозь этот же светофильтр) выглядит так же, как и данный цвет; содержание черного в этом сером цвете равно содержанию черного в нашем исследуемом хроматическом цвете.

Если мы обозначим через h_1 светлоту или содержание белого в одинаково выглядевшем сером цвете, то $1—h_1$ будет выражать содержание в нем черного цвета; и если мы через S обозначим содержание черного цвета

в каком либо хроматическом цвете, то для случая рассматривания через соответствующий по цвету светофильтр, может быть применимо следующее уравнение:

$$S = 1 - h_1.$$

Если мы далее рассматриваем какой-нибудь хроматический цвет через светофильтр дополнительного к нему цвета, то чистый цвет ведет себя как черный: от него никакой свет сквозь светофильтр не проходит. Если же какой-нибудь свет имеется, то он может происходить только от белого цвета, содержащегося в нашем испытуемом цвете, так как подмесь черного цвета света не дает, а других слагаемых в нем больше нет. Обозначая через h_2 светлоту серого, который через наш светофильтр дополнительного цвета так же выглядит, как и измеряемый хроматический цвет, можно содержание белого цвета в последнем выразить уравнением:

$$W = h_2$$

Содержание же чистого цвета, можно, наконец, найти из уравнения $V + W + S = 1$, если произвести оба измерения и вставить соответственные числовые величины для W и S. Мы тогда получаем

$$V = h_1 - h_2.$$

Этим самым наша задача полностью разрешается.

Светофильтры. Понятие светофильтра означает, что данное вещество пропускает свет только определенного цвета. Этим мы, конечно, не подразумеваем свет лишь одного числа колебаний, или физически однородный свет. Это дало бы бесконечно малую дробь общего света, т.-е. фильтр казался бы практически непрозрачным. Мы подразумеваем психологически однородный цвет, т.-е. такой свет, который в нашем глазу вызывает ощущение одного цвета. Ведь известно же, например, что в красном конце спектра находится широкая полоса, в которой имеется красный цвет различнейших чисел колебаний, но все-таки мы его видим, как один и тот же красный.

Для того, чтобы узнать, является ли данный светофильтр психологически однородным, мы смотрим через него на цветовой круг возможно чистых цветов. Если данный фильтр однороден, то круг распадается на светлую и темную половины, которые соединены между собой короткими бесцветными переходами. Если же он неоднороден, то на месте соединения выступают разные хроматические цвета. С усилением краски можно такой фильтр сделать однородным. При этом необходим тщательный отбор красящих веществ, чтоб они были однородными и в то же время достаточно прозрачными.

Различают два рода светофильтров: поглощающие фильтры (Schluckfilter), и пропускающие фильтры (Passfilter), в зависимости от их назначения для поглощения или для пропускания хроматического света, т.-е. в зависимости от того, служат ли они для определения содержания белого или содержания черного цвета. В общем, одни и те же фильтры могут быть применяемы для обеих целей, только в противоположных частях цветового круга.

Число необходимых фильтров невелико. Вначале можно было предполагать, что для каждого цветового тона необходим отдельный фильтр. Практика же доказала, что одним и тем же фильтром можно измерять довольно большие области цветов. Методические изыскания последнего времени доказали, что можно обойтись следующими светофильтрами: желтым, красным, синим, цвета морской зелени и цвета лиственной зелени.

Светофильтр приготовляют следующим образом: к подобранным красящим веществам, растворенным в воде, прибавляют желатин, обли-

вают этой краской стекла и дают им высохнуть. Затем наклеивают поверх слоя краски другое стеклышко. Так как самые удобные для этой цели краски не все достаточно стойки по отношению к свету, то необходимо сохранять эти фильтры в закрытом ящике. В таком случае ими можно пользоваться долгие годы. Если употребляешь эти светофильтры часто, то можно себя оградить от ошибок, имея в запасе другой набор таких же светофильтров, который хранится в вполне закрытом ящике. Раз в месяц можно сравнивать фильтры, ежедневно применяемые в работе с теми, которые остаются все время хорошо защищенными от влияния света.

Наиболее трудностей встречаешь при измерении содержания белого цвета в первом желтом, так как относящийся сюда синий поглощающий фильтр должен быть очень темным, для того, чтобы вовсе не пропускать чуждый свет. Его делят поэтому на два менее сильных светофильтра, которые вместе служат как фильтр поглощения, в то время как фильтром пропускания для синих цветов достаточен бывает один из них.

Измерение содержания черного в пурпурных цветах. Цвета пурпурные состоят из красного и фиолетового света, взятых в различных отношениях из обоих концов спектра. Невозможно, поэтому, приготовить фильтр пропускания для всех пурпурных цветов, который бы был в то же время и психологически однородным. Измерение обеих областей производят, поэтому, порознь с красным и синим фильтром пропускания. Для первой цели служит особый красный фильтр с ограниченной областью пропускания. Из двух чисел, которые в большинстве случаев бывают различны, интерполируют искомую величину прямолинейно, согласно цветового тона. Так как область пурпура находится между 25 и 50, то необходимо к цветовому тону n прибавить дробь $\frac{n-25}{25}$ разницы к величине, найденной для красного, или вычесть данную дробь, если число синего является меньшим. Если r и b выражают найденные количества черного цвета, то

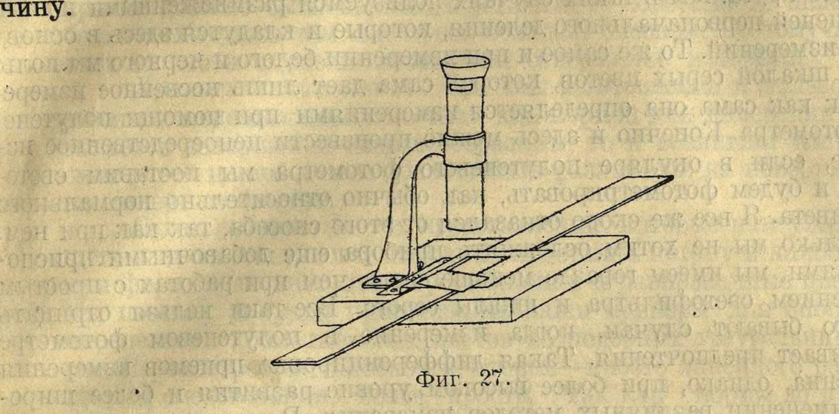
$$r + \frac{n-25}{25}(b-r)$$ и выражает собою искомое содержание черного.

Такой подсчет представляет собой только первое приближение, которое, однако, до сих пор оказывалось достаточно удовлетворительным.

Производство измерения. Определение количества белого и черного цвета можно производить на той же самой подставке, на которой ставится и «Поми». Для этого снимают трубку с призмой и делениями круга и вставляют обыкновенную зрительную трубку. Эта трубка должна иметь лишь несколько диафрагм для ограничения поля зрения, а также боковую щель, поближе к глазу, для вдвигания светлофильтров. Для лиц обладающих ненормальным зрением можно вкладывать и соответствующее очковое стекло. После того, как цветовой тон пробы определен, вставляют светофильтр. Каждый из светофильтров снабжен надписью с указанием области его применения (+ для черного,—для белого), так что при знании цветового тона и можно сейчас же выбрать соответствующий светофильтр. Измеряемой пробе—удобнее всего накрашиванию на плотной бумаге—при помощи ножниц придают резкие края и кладут с небольшим наклоном на столик так, чтобы она не бросала при этом тени на находящуюся под ней шкалу серых цветов (фиг. 27).

Теперь в поле зрения мы видим (в цвете светофильтра) направо нашу цветную пробу, а налево место серых цветов, как раз находящееся в поле же зрения. Оба вначале выглядят различными по светлоте. Шкалу серых цветов передвигают до тех пор, пока не наступит равенство. Боль-

шей частью цвет накрашенной полосы оказывается между двумя ступенями серой шкалы. Тогда определяют приблизительно расстояние его между обоими цветами и берут соответственную промежуточную величину.



Фиг. 27.

Шкала обозначена цифрами, означающими процентное содержание белого цвета (от 100 до 02). Если речь идет о содержании черного, то найденное число необходимо вычесть из ста.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ.

Опосредствованные измерения.

Понятие. Под опосредствованными измерениями я понимаю такие, в которых мы сравниваем данный цвет с уже ранее измеренными цветами. Подобные измерения имеют тот недостаток, что безусловной предпосылкой их является точность употребляемых норм. Преимущество же их состоит в том, что эти измерения можно произвести гораздо легче, быстрее и с гораздо более простыми приборами, чем непосредственные или первоначальные измерения. Они находят себе применение там, где эти преимущества важнее, чем вышеуказанные недостатки, т.-е. чаще всего при технических и художественных работах. Также имеется немало случаев,—и число их будет быстро увеличиваться по мере расширения приложений цветоведения,—когда сам предмет таков, что не позволяет определить его цвет при помощи аппаратуры, описанной в предыдущей главе. Тогда остаются две возможности. Первая—это скопировать цвет на бумагу и подвергнуть ее измерению, как было выше описано. Вторая же возможность, при помощи норм, цветовых шкал и т. д. произвести опосредствованное измерение. Оба способа находят себе применение, все же второй способ применяется значительно более широко. Об'ясняется это тем, что правильно копировать цвет есть сама по себе такая трудная задача, что только лишь очень искусный может разрешить ее достаточно хорошо. Найти же между уже фиксированными цветовыми нормами сходную или похожую на данный цвет настолько просто, что вполне удается любому человеку после нескольких проб.

Кроме того, как то мы ниже и увидим, вышеописанные способы измерения сами по себе отчасти также являются посредственными. Наиболее непосредственным является здесь лишь измерение при помощи полуте-

невого фотометра, где требуется лишь нормальный белый цвет. Все остальное сводится к простому измерению ширины щели. Но уже при определении цветовых тонов мы не можем каждый раз вновь производить деления цветового круга. Мы в таких случаях пользуемся размноженными копиями ступеней первоначального деления, которые и кладутся здесь в основу наших измерений. То же самое и при измерении белого и черного мы пользуемся шкалой серых цветов, которая сама дает лишь косвенное измерение, так как сама она определяется измерениями при помощи полутеневого фотометра. Конечно и здесь можно произвести непосредственное измерение, если в окуляре полутеневого фотометра мы поставим светофильтр и будем фотометрировать, как обычно относительно нормального белого цвета. Я все же скоро отказался от этого способа, так как при нем, если только мы не хотим осложнять прибора еще добавочными приспособлениями, мы имеем гораздо меньше света, чем при работах с простым применением светофильтра и шкалы серого. Все-таки нельзя отрицать того, что бывают случаи, когда измерение в полутеневом фотометре заслуживает предпочтения. Такая дифференцировка приемов измерения естественна, однако, при более высоком уровне развития и более широком применении различных методов измерения. В настоящее же время вся данная отрасль науки еще слишком молода.

Ахроматические шкалы. Для того, чтобы данный цвет сравнить с нормой, он должен непосредственно, без всяких промежутков граничить с нею. Чем лучше это условие выполнено, тем надежнее и точнее наше сравнение.

Так как часто нет возможности сделать край у пробы достаточно остро и ровно обрезанным, необходимо позаботиться, чтобы такой край был у норм. Необходимо, поэтому, поля с нормированными цветами хотя бы с одной стороны оставить без каемки и сделать там такой острый обрез. Вскоре нетрудно бывает убедиться в том, что соседние, с обеих сторон, поля облегчают нахождение нужной установки благодаря тому, что сами они отклоняются от тождества в противоположных направлениях. Поэтому, надо озаботиться, чтоб они видны были в поле зрения и чтобы сравниваемые поля можно было бы легко менять механическим или оптическим путем.

Эти условия различные приборы выполняют различными путями. Наилучшее решение вопроса дает устройство линейки в виде лестницы.

Мы это уже изложили при описании малой шкалы серых цветов. Здесь же нам остается изложить самое основное. Требование резко обрезанной границы мы выполняем тем, что перекладины шкалы-лестницы вырезаем без каемок из уже промеренной ранее крашеной бумаги; особенное внимание надо обратить при этом именно на аккуратность обрезанной границы. Подкладкой лучше всего может служить в данном случае соответственно окрашенная серая бумага, не позволяющая белым полоскам разрезов бросаться в глаза.

Благодаря наличию открытых промежуточных пространств между перекладинами шкалы, мы попеременно видим цвет пробы и цвета нормированных ступенек. Следствием этого является большое облегчение нахождения подходящей ступени; при некотором навыке это удается уже с первого взгляда. Так как просветы с одной стороны светлее данной нормы, а с другой стороны темнее ее, то там, где эта перемена в направлении разницы наступает, наш глаз испытывает впечатление как бы некоторого толчка и задерживается здесь. Повторный взгляд дает возможность решить имеем ли дело в данном случае с полным равенством между цветом пробы и цветом нормы или же цвет пробы лежит между двумя ступенями.

Для избежания теней, которые затрудняют наблюдение, кладут шкалы так, чтобы свет падал перпендикулярно к продольному направлению их, т.-е. параллельно к краям нормированных полосок. Направление зрения должно быть перпендикулярным к поверхности шкалы. Это особенно необходимо там, где проба обладает блеском. Поэтому-то надо стремиться, чтобы ступени шкал были совершенно матовыми.

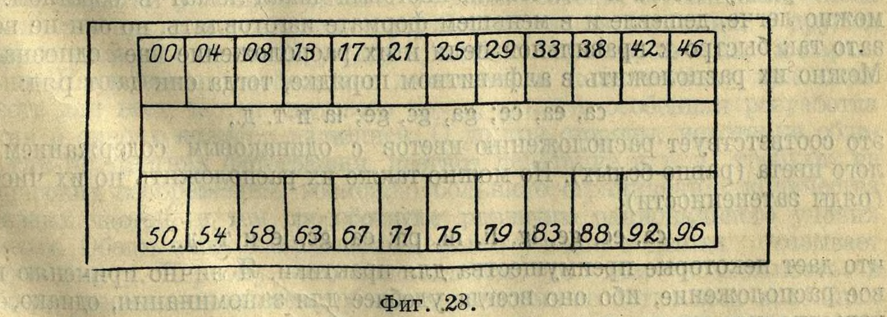
Хроматические шкалы. Так как изготовление и пользование вещественной моделью цветового тела, как нормой для измерения цветов, оказывается совершенно нецелесообразным, то и возникает вопрос, в каком смысле это цветовое тело должно быть разложено: на поверхности или же на линейные фигуры.

Ответ вытекает из тех представлений, которые нам уже из предыдущего известны, и гласит, что самая простая, а потому и наиболее приемлемая форма, это однотонные треугольники и равнозначные цветовые круги. Мы поэтому и будем приготовлять наши приборы для опосредственного определения хроматических цветов из подобных треугольников или кругов. Первые требуют плоскости, вторые—просто линейного расположения; вторые, следовательно, более просты. Так как нормы до p с одной стороны дают 24 треугольника, а с другой стороны дают 28 кругов, то оба расположения в отношении числа почти равноценны.

Форму круга будем сохранять из педагогических соображений для целей обучения. Для приборов же она слишком громоздка. Круги, поэтому, разрезаются лучше всего между 00 и 96, и все двадцать четыре цветовых нормы располагаются в форме простого или двойного ряда.

В виду тех преимуществ, о которых мы выше говорили, наиболее удобными оказываются шкалы с ступенями-перемычками и с открытыми промежутками между ними. Так как ширина в 6 или 7мм. вполне достаточна, как для перемычек, так и для промежутков, то вся шкала займет всего 30 ст. длины, что вполне удобно. Этот прибор—«шкала цветовых тонов»—в той его форме, о которой было выше указано, нашел уже ныне широкое применение. В новой форме наш прибор имеет в длину всего 15 ст., состоит из 24 цветов, разбитых на два ряда (по 12-ти) и расположенных рядом друг с другом.

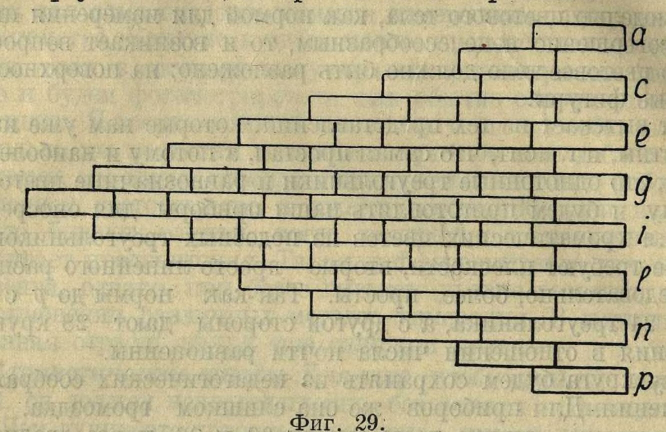
В тех случаях, когда необходим, возможно маленький, карманный формат, можно, пренебрегая контрастным влиянием, по предложению доктора *Кенига* из Нюрнберга, расположить нормы равнозначных цветов подряд друг с другом, в два ряда с одним общим просветом между ними, как то изображено на фиг. 28.



Фиг. 28.

Если желают однотонный треугольник превратить в измерительный прибор, то речь может итти о прорезях в его поверхности. *В. Дуглас* это и приготовил в форме фиг. 29. Вместо треугольников можно также изготовить ромбы всего основного разреза, т.-е. прибавить и второй треуголь-

ник дополнительного цвета. Число полей уменьшается, таким образом, на 12, так как экономизируется половина шкалы серых цветов; зато появляется тот недостаток, что вся измерительная накладка становится вдвое больше, а вместе с тем и наполовину же менее долговечной, так как каждый раз употребляется и второй треугольник, непосредственно для данного измерения ненужный. Поэтому, скорее надо отдать все же предпочтение 24 треугольникам, по сравнению с 12 ромбами.



Фиг. 29.

Если спросить, какое же расположение нормированных цветов заслуживает предпочтения практически, то при ответе необходимо принять во внимание следующие соображения.

Всегда легче бывает определить правильно цветовой тон, чем содержание белого или черного в каком-нибудь данном цвете. Поэтому, быстрее найдешь правильный треугольник, в котором надо искать данный цвет, чем точное место этого цвета в соответствующем треугольнике. Это очень важное преимущество треугольников.

Второе же преимущество — это наглядная простота расположения сохраняющихся треугольников и легкость их применения. Эта простота есть результат линейного порядка цветового круга. Таков второй плюс.

Недостатком же является трудность приготовления этих треугольников и соответственно этому их высокая цена. Уменьшение формата возможно здесь лишь путем общего уменьшения всех полей, но не путем смыкания их.

Преимущества и недостатки цветовых шкал лежат в обратном. Их можно легче, дешевле и в меньшем формате изготовлять, но они не ведут зато так быстро к правильной цели и их расположение не однозначно. Можно их расположить в алфавитном порядке, тогда они дают ряд:

ca, ea, ce; ga, gc, ge; ia и т. д.,

это соответствует расположению цветов с одинаковым содержанием белого цвета (равно-белых). Но можно также их расположить по их чистоте (ряды затененности):

ca, ec, ge, ig, li, nl, pn; ea, gc, ie и т. д.,

что дает некоторые преимущества для практики. Я лично применяю первое расположение, ибо оно всегда удобнее для запоминания, однако, мне известно, что многие практики являются горячими сторонниками второго расположения.

Треугольников еще до сих пор нет в продаже. В ближайшее время они в продажу поступят и тогда уже окончательно выяснится, какая же из этих форм измерительных норм наилучше.

Отдел II.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ.

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ.

Смешение цветов.

Прежние познания. Знание того, что от смешения разных красящих веществ можно получить новые цвета, не так старо, как само применение красок вообще. Древнейшие разрисованные предметы, которые нам известны, показывают употребление однородных красок; в древне-египетской стенной живописи мы имеем высоко развитый стиль, который вначале всецело основывался на применении лишь чистых красящих веществ. То же самое мы видим и в развитии других специальных отраслей применения красок, как, например, в миниатюрах. Все эти ступени развития рано или поздно вступают в новую фазу, которая характеризуется открытием или применением смесей красок.

Рассмотрение того богатого многообразия, которое должно тотчас себя проявить при воплощении в жизни идеи смешения красок, дает совершенно иной уклон всему исследованию. Если до этого все внимание было обращено на открытие новых красок, то сейчас встает обратный вопрос, как обойтись, пользуясь смешением красок, наименьшим числом их. Нам известно, что в древности *Плиний* высказывался по этому же вопросу.

Таковы полюсы, между которыми колебалось развитие практического применения красок. Увеличение числа красящих веществ и задержка развития учения о смесях, с одной стороны, ограничение числа красящих веществ и усиленная разработка учения о смесях, с другой, время от времени сменяют друг друга, однако, идут порою также и параллельно. Наше время располагает достаточным количеством красящих веществ для всех частей цветового круга, так что особенная разработка учения о смесях кажется излишней. С другой стороны, некоторые области, как-то: цветная фотография, цветное печатание и т. д., требуют, из технических соображений, возможно большого ограничения количества составных частей, и тем способствуют развитию рационального учения о смесях. Обоим этим направлениям новое учение о цветах оказывает ценную услугу. Первому—оно помогает тем, что дает возможность в удобо-расположенной системе обозреть цветовые свойства всех красящих веществ. Второму—учением о цветовом полукруге оно дает стройное учение о субтрактивных смесях, наиболее частых и важных, каковогo до сих пор также не имелось.

Аддитивные (слагательные) и субтрактивные (вычитательные) смеси. В исторической части книги нами было уже упомянуто, что открытие

возможности получить все цветовые тона, при помощи смеси лишь трех цветов было сделано около половины восемнадцатого века и получило широкое применение. При этом не различали, смешивают ли красящие вещества, или же цветные источники света. *Ньютон* ставил опыты, как с световыми лучами, так и с порошками красок, чтобы получить из хроматических цветов белый. *Майер* и *Ламберт* не сомневались в том, что законы полученные ими при смешении красящих веществ выражают законы смешения цветов вообще, хотя уже и в те времена отдельные, тонко мыслящие наблюдатели проводили различие между красками и цветами (pigmenta и colores).

Получающиеся при этом противоречия не замечались. Так как при смешении желтых и синих красителей получается ровный зеленый цвет, то считали «само собой понятным»», что такой же самый результат получится и при смешении соответствующих световых лучей; никто не пробовал проверить это на опыте. В этом отношении *Гёте* и его противники были единодушны. Открытие же *Вюншем* в начале девятнадцатого века того, что синие и желтые лучи света в смеси дают белый оставалось без внимания или же с насмешкой отвергалось.

Когда *Гельмгольц* спустя два поколения констатировал тот же факт, то возникла потребность дать об'яснение этому противоречию. Он нашел его в том, что различил *аддитивные* (слагательные) и *субтрактивные* (вычитательные) смеси. Когда смешиваются цветные источники света, мы имеем слагательное смешение. Все те смеси, которые мы получаем оптическим путем, благодаря отражению света, двойному преломлению света и т. д., или физиологическим путем, при помощи вращающегося диска с цветными секторами, или смешения рядом лежащих маленьких разноцветных точек или полосок, суть смеси *аддитивные*, так как в них на нас воздействуют все составные части. Субтрактивные же смеси суть смеси красителей. Типичным для этого рода явлений служит то, что мы наблюдаем, когда складем вместе два цветных стекла. Свет, который проходит через первое стекло, не попадает полностью в наш глаз, так как он теряет еще свет, поглощаемый вторым стеклом, и в результате нам в глаз попадает только остающийся после всего этого остаток; этим об'ясняется и название таких смесей *субтрактивными* (вычитательными). Таким же образом действует и смесь цветных жидкостей. *Гельмгольц* замечает по поводу получения зеленого цвета из желтого и синего следующее: «При таких обстоятельствах, через смесь желтой и синей жидкости лучше всего будет проходить зеленый свет, так как синяя жидкость поглощает красные и желтые лучи, а желтая жидкость поглощает синие и фиолетовые лучи». Больше относительно субтрактивных смесей мы у него ничего не находим.

В то время, как законы аддитивных смесей были намечены *Ньютоном*, основательно развиты *Максвэллом*, учение о субтрактивных смесях осталось совершенно неразработанным, несмотря на громадное значение таких смесей. Причина этого коренилась в отсутствии рационального об'яснения. Такое об'яснение мы впервые находим в учении о цветовом полукруге и только с появлением этого учения началось развитие данной области цветоведения.

Законы аддитивных смесей. Г. Грассманн в образцовой форме изложил математические основы учения об аддитивных смесях. Главное содержание этих положений было приведено нами выше. К этому *Максвэлл* добавил богатое экспериментальное доказательство правильности *ньютоновской* конструкции, состоящей в том, что смеси двух цветов, в цветовом круге, могут быть найдены, если мы соединим их между собой прямой ли-

нией, а эту линию разделим на отрезки обратно-пропорциональные взятым количествам смешиваемых цветов. Радиус, который можно начертить через эту точку, укажет нам на соответственную точку окружности, т.-е. на цветовой тон полученной смеси; расстояние же данной точки от центра круга определяет чистоту этого цвета. Необходимая при этом третья переменная не находит, конечно, себе выражения в двумерной плоскости круга, почему описываемая конструкция и остается неполной.

Если мы возьмем из нее только важнейшее для нас, то мы будем иметь следующие *законы адитивных смесей:*

1. Переходы между цветами непрерывны.
2. Имеются *метамерные* цвета, т.-е. такие, которые при различном составе выглядят одинаково.
3. Одинаково выглядящие цвета дают и одинаково выглядящие смеси.
4. Смеси каких бы то ни было двух цветов находятся в цветовом теле на прямой линии соединяющей точки, соответствующие этим цветам, и делят эту линию на отрезки, обратно-пропорциональные количествам смешиваемых цветов.

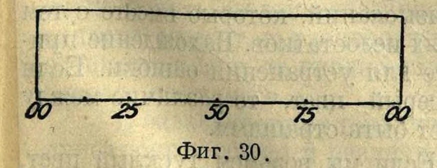
Метамерные цвета. Факт существования метамерных цветов уже давно известен. Возможность получения белого цвета из смеси двух любых дополнительных цветов, из трех цветов и т. д. уже доказывает, что существуют цвета весьма различного состава, которые все кажутся белыми, т.-е. одинаково *выглядят.* Методического изучения этого предмета до сих пор не предпринималось. Новое учение о цвете не могло пройти мимо такой важной проблемы. Оно должно было на ней остановиться еще и потому, что оно обладает достаточными средствами для ее изучения. (*Ostwald*. Physikalische Farbenlehre, 1919 г., S. 237). Основным и здесь является учение о цветовом полукруге.

Это учение раньше всего указывает на то, что метамерное белое существует только в области цветов несоотнесенных. В цветах же соотнесенных белое возможно лишь при полном отражении всех лучей; для метамерности здесь, очевидно, уже места не остается.

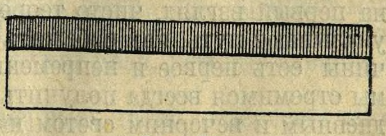
У серого же цвета это вполне возможно. Ведь для того, чтоб мы имели перед собой нейтрально серый цвет, надо, чтобы какие-либо два дополнительных цвета были в равной мере ослаблены. Таким же образом мы можем получить серый цвет, если в соответственном соотношении ослаблены три, четыре и т. д. цвета. Все эти полученные серые цвета метамерны, если имеют одинаковую светлоту.

Метамерные серые. Для удобства обзора этих отношений, представим себе спектр, расположенным по психологическому цветовому кругу и перетасованным таким образом, что он начинается цветовым тоном 00 и кончается 99. Цвета пурпурные складываются из выходящих за нормы соседних красного и фиолетового. Фиг. 30 изображает такой «сокращенный» спектр.

Если в сокращенном спектре все цвета уменьшены в одинаковом отношении (фиг. 31), то мы получаем *простой* или *полный* серый цвет.



Фиг. 30.

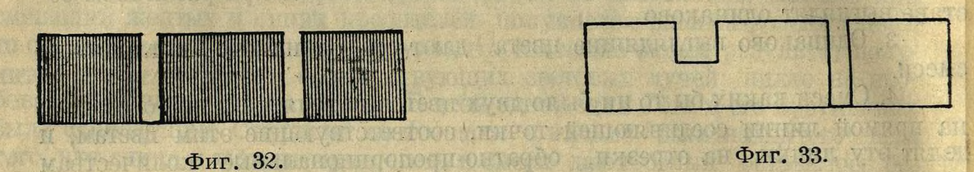

Фиг. 31.

Практически он имеет громадное значение, до сих пор еще не достаточно осознанное нами, поскольку это ведь тот самый серый (во всех светло-

тах), который при любом освещении (дневном или искусственном) всегда остается нейтральным. Причина этому та, что он всегда отражает одинаковую часть всех световых волн, которые на него падают, независимо от того, каков состав этого света освещения.

Кроме простого серого, может быть двойной, тройной и т. д. Двойной получается тогда, когда две дополнительные области цветов отсутствуют в одинаковых количествах (фиг. 32).

Эти одинаковые количества могут получиться или благодаря наличию узких полос с полным поглощением, или же при более широких, но не полных полосах поглощения (фиг. 33).



Фиг. 32. Фиг. 33.

В действительности же встречающиеся полосы поглощения никогда не бывают ни полными, ни резко очерченными или ограниченными прямоугольно. Если мы твердо будем помнить, что линии на фигурах 32 и 33 имеют не резкие, но размытые границы, мы сможем себе верно представить их.

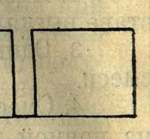
Вместо двух областей поглощения могут существовать три и более и эти области могут примыкать друг к другу.

Такие неполные серые цвета меняют свой вид с изменением состава лучей света освещения тем более, чем острее и уже области поглощения. Если мы имеем, например, три светлых светофильтра, ультрамариновый, средне-зеленый и первый красный, дающие нам в определенный день нейтрально-серый цвет, то в другой день они кажутся уже определенно хроматическими, так как изменчивый состав дневного света, вообще нами и не замечаемый, здесь оказал свое действие.

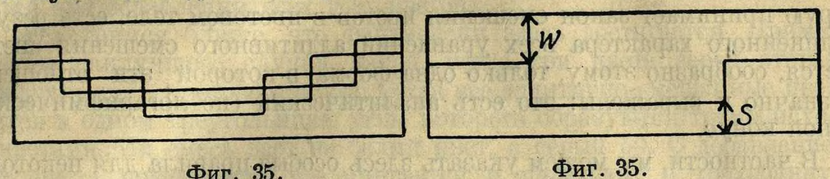
Представим себе, например, что какой-нибудь серый цвет (фиг. 32) освещен белым светом, в котором отсутствует область, соответствующая правой полосе поглощения и в той же мере дополнительная к ней область. Такой свет будет таким же белым, как и обыкновенный; наш же серый цвет будет выглядеть в нем сине-зеленым. Это об'ясняется тем, что недостаток света в правой стороне спектра попадает в полосу поглощения, а потому и не оказывает влияния; тот же недостаток с левой стороны вызывает, наоборот, недостаток красного света, благодаря чему дополнительный цвет—морской зеленый—и получает перевес.

Если вспомним, что в крашении серые и тусклые цвета в огромном большинстве случаев накрашиваются посредством трех смешанных хроматических красок—желтой, красной и синей и это дает безусловно неполный (в вышеуказанном смысле) серый цвет, со всеми вытекающими отсюда недостатками, то будет понятно все практическое значение наших, на первый взгляд, чисто теоретических изысканий, которые вместе с тем указывают путь, как избежать упомянутых недостатков. Нахождение причины есть первое и непременное условие для устранения ошибки. Если мы стремимся всегда получить полный серый цвет, то различие между дневным и вечерним светом нам перестает быть страшным.

Метамерные хроматические цвета. Если мы возьмем тусклый цвет, полоса поглощения у которого дана буквами *a a a* (фиг. 34), то можно конструировать целый ряд других метамерных цветов, область поглоще-



ния которых расположена симметрично к *аааа*, но которая становится все шире и более плоской, как то и изображена на фиг. 34. Среди этих полос пусть одна (фиг. 35) будет такой, область поглощения у коей рав-



Фиг. 35. Фиг. 35.

няется как раз ширине цветового полукруга. Получающийся при таких условиях цвет обладает тем особым свойством, что дает возможность непосредственно учесть все его составные части. Та часть, высота которой обозначена через S, указывает содержание черного цвета, так как от нее света совсем не дается. Расстояние W указывает содержание белого цвета, так как эта верхняя полоса содержит все световые лучи. В конце-концов полоса V находящаяся между ними представляет собой часть составляемую чистым цветом, так как в ней заключен как раз цветовой полукруг.

Очевидно, у каждого цвета можно превратить имеющуюся у него случайную форму в области поглощения, в вышеописанную нормальную форму метамерного цвета, откуда уже и бывает возможно непосредственно взять количественные характеристики данного цвета. Также и цветовой тон определяется из подобного чертежа, так как он лежит посредине области пропускания света.

В связи со всем этим встает большое число вопросов, ответить на которые можно будет лишь после специальных методических исследований. До сего же времени в этом отношении сделано очень мало.

Неравнозначность метамерных цветов. То, что метамерные цвета ведут себя при смешении одинаково, есть особенность аддитивного смешения, не сохраняющаяся при смешении субтрактивном. Это не трудно понять, если вспомнить, что в аддитивных смесях состав отдельных частей не меняется, в результате чего получается чистая сумма наличных световых лучей. А так как отношение состава лучей к ощущению однозначно, то ощущение и не меняется при сохранении в смеси первоначально данных соотношений лучей.

Факт существования метамерности цветов происходит от того, что хроматические ощущения представляют собой гораздо более малочисленную группу, чем комбинации видимых световых лучей. Благодаря этому и становится необходимым и неизбежным, что многим комбинациям лучей должны соответствовать одни те же ощущения, ибо иначе вышеуказанное упрощение было бы невозможно. Соотношение же однозначно в том смысле, что каждой комбинации соответствует одно и лишь одно ощущение: с другой точки зрения оно многозначно, поскольку одно и то же ощущение может быть вызвано различными комбинациями лучей света.

То, что в субтрактивных смесях метамерные цвета ведут себя иначе, легко понять из вышесказанного. Метамерные цвета, по крайней мере, отчасти, состоят из разнородных лучей. При субтрактивном смешении поглощаются лишь те вполне определенные длины волн, которые зависят от второго слагаемого.

В зависимости от того, сколько метамерные цвета содержат таких лучей, они в общем и различно изменяются под влиянием второй составной части. Если до субтрактивного воздействия второй части они выглядели одинаково, то после такового, они—за немногими исключениями—

всегда выглядят различно. При помощи субтрактивной смеси можно установить одинаковы ли два данные цвета или они только метамерны.

Результат смешения цветов. Такая геометрически простая форма, которую принимает закон смешения цветов в цветовом теле, есть результат линейного характера всех уравнений аддитивного смешения цветов. Имеется, сообразно этому, только одна форма, в которой эти отношения однозначно и выражены: это есть аналитический (не логарифмический) двойной конус.

В частности, мы можем указать здесь особые правила для некоторых особо - важных случаев. При исследовании смесей в однотонном треугольнике получается, что всегда остаешься в границах самого треугольника, так как всякая линия, соединяющая две его точки, находится внутри его. Так как к каждому треугольнику относится и его ахроматическая сторона, то отсюда следует, что как при смешении двух цветов одного цветовог тона, так и при смешении одного хроматического цвета с ахроматическим—цветовой тон не меняется. Если обе точки находятся на одной равно-чистой, или равно-белой, или равно-черной линии, то все смеси их также находятся на ней, опять-таки, включая сюда и крайне ахроматические поля.

Наоборот, если смешиваемые цвета принадлежат к одному кругу равнозначных цветов, то цвет смеси никогда не падает в этот же круг, а всегда в круг меньшего радиуса, менее чистый. Цветовой тон смеси находится всегда между цветовыми тонами цветов составляющих и отклонение его от исходного равнозначного круга будет тем большим, чем дальше друг от друга отстоят цветовые тона смешиваемых цветов. Отклонение это будет самым большим у средней смеси, т.-е. тогда, когда эта смесь состоит из одинаковых частей составляющих. Если же оба смешиваемых цветовых тона расположены диаметрально противоположно друг к другу, т.-е. они суть дополнительные цвета,—то смесь одинаковых количеств их не даст вовсе цветового тона, а покажется нейтрально-серой, так как точка смеси совпадает с центром круга.

В остальном цвета всех смесей находятся в плоскости равнозначного круга.

Практическое значение. Вышеизложенные правила имеют основоположное значение для важных областей практики. Раньше всего—для печатания тремя красками. На основании ошибочного взгляда, что из трех цветов—желтого, красного и синего можно, при помощи смесей, получить все остальные цвета, уже в течение десятков лет многие напрасно трудятся найти соответствующий способ печатания вполне хорошо воспроизводящий цветные предметы. От этой мысли еще и до сих пор не отказались, несмотря на неудачу всех попыток в этом направлении.

Печатание тремя красками основывается на совместном действии аддитивных и субтрактивных смесей. Чем лучше употребляемые при печатании краски кроют, тем больше выступают на передний план аддитивная смесь, чем больше они лессируют, тем в большей мере мы имеем дело с смесью субтрактивной.

Случай чисто аддитивной смеси представляет собой аутохромный способ цветной фотографии. Тут цветной эффект получается благодаря смежности трех родов цветных пятен (окрашенных крахмальных зерен), которые лежат друг возле друга и настолько малы, что цвета их аддитивно смешиваются. При фотографировании получается черный покров, который закрывает цвета настолько, насколько их недостает на поверхности и таким образом замещает их черным. Белый цвет получается

от беспрепятственного действия всех цветов вместе. Полные цвета (или близкие к ним) возникают при полном прикрытии одного рода пятен и умеренном ослаблении пятен двух других цветов. Тусклые же цвета получаются при ослаблении всех трех цветов.

Присмотримся ближе, что фактически здесь достигается. Примем, в качестве наилучшего случая, такой, когда три цвета зерен отстоят друг от друга на $^1/_3$ цветового круга. Тогда все аддитивно-смешанные цвета находятся в одном треугольнике, углы которого образуются тремя исходными цветами. Их смесь дает не белый цвет, а серый 50. С добавлением черного цвета поверхность увеличивается и переходит в трехгранную пирамиду, вершина которой находится внизу, в точке черного. В этом пространстве, которое округленно занимает $^1/_5$ всего об'ема двойного конуса, и находятся все цвета, приготовленные путем смешения трех исходных.

Прежде всего мы не можем получить таким путем цветовой круг полных цветов. Полные цвета трех разноцветных зернышек стоят изолированно; все цвета смесей тусклее их, и наиболее тусклы, при этом, те цвета, которые находятся как раз посредине, между каждыми двумя цветами. Самый большой равнозначный круг, который можно при этом получить, это круг, вписанный в образуемый тремя исходными цветами треугольник; диаметр его равен половине диаметра полного круга. Следствием этого является то, что такие приближенно-чистые цвета, которые близко стоят к одному из основных цветов, кажутся неестественно чистыми, в то время, как цвета, лежащие между ними, оказываются слишком тусклыми. Гармоничное само по себе сочетание цветов будет на такой фотографии казаться негармоничным.

Как надо аддитивно смешивать цвета. Вышеизложенные рассуждения привели нас к тому, что при смешении цветов одинакового цветового тона всегда остаешься в том же треугольнике. При смешении же равнозначных цветов, напротив, выходишь из соответствующего равнозначного круга. В первом случае, самостоятельно устанавливаются гармонические отношения, во - втором же случае совершенно невозможно получить таковые, т. к. гармоничные отношения возможны только у цветов равнозначного круга.

Из этого следует, что при ремесленных и художественно-ремесленных работах, при которых приходится иметь дело с аддитивными смесями, не надо пытаться получить цветовые тона из малого количества основных цветов, т. к. они неизбежно оказываются тогда негармоничными. Гораздо лучше приготовить столько равнозначных цветов, сколько цветовых тонов имеется в виду получить. Из этих самых чистых цветов изготовляют все тусклые производные при помощи соответственного серого, еще проще посредством смешения с белым и черным. По Вюншу, таким образом получаются все тусклые производные, которые всегда лежат в соответствующем однотонном треугольнике и дают возможность получить строгую цветовую гармонию.

Это относится, например, к тканью ковров. Окрашивая некрученую пряжу в 24 цвета, возможно более чистого, цветового круга и добавляя к этому волокна белые и черные, мы получаем возможность получать из них *любой цвет* соответствующего цветового круга; при этом все переходные оттенки того же цветового тона будут по цвету вполне точны и строго гармоничны. Никогда не следует смешивать весьма различные цветовые тона, если нужно получить промежуточные цвета, — разве лишь непосредственно соседние, при смешении которых возникающее потускнение бывает наименьшим.

Вышеизложенное приблизительно верно и применительно к смешиванию цветных волокон. Однако здесь начинает уже сказываться и субтрактивное смешение.

Все это открывает широкие возможности для развития художественного тканья.

Субтрактивные смеси. В то время как у аддитивных смесей сам состав каждой составной части остается без изменения, у субтрактивных смесей такое изменение имеет место. Оно выражается в том, что поглощение второй составной частью меняет состав света, пропущенного первой. Вследствие этого метамерные цвета проявляют себя в субтрактивных смесях не как одинаковые, а как различные.

Такое субтрактивное смешение имеет место каждый раз, когда несколько веществ, посредством поглощения, вместе влияют на характер света. Самый наглядный случай такого смешения это тот, когда два цветных стекла держат против света или же кладут их на белый фон. В первом случае свет проходит каждое стеклышко только один раз, во втором—два раза. Такое же самое явление мы наблюдаем и при накрашивания или печатания прозрачной краской на цветном фоне. Важнейшим случаем здесь является смешение в однородный цвет двух поглощающих веществ в растворах; цвет смеси дается здесь путем чисто вычитательным (субтрактивным).

Непосредственно к этому случаю примыкает крашение тканей и волокнистых веществ, где благодаря коллоидальному распределению красящих веществ в прозрачных волокнах получается такого же рода смешение. Наконец, надо еще указать на смешение кроющих красящих веществ, встречающееся у маляров и у художников. Здесь явление дано не в чистом своем виде, так как соседство различных цветных зернышек красителей в поверхностном слое вызывает и эффект аддитивного смешения. Поэтому, чем глубже свет может проникнуть, прежде чем возвратиться к нам обратно (при чем свет попеременно проходит через крупинки разных цветов),—другими словами, чем хуже краски кроют, тем больше преобладает субтрактивное смешение и наоборот.

Таким образом понятно, что субтрактивные смеси встречаются гораздо чаще и технически более важны, чем аддитивные. Законы субтрактивных смесей гораздо более сложны и совсем не доступны пониманию вне учения о цветовом полукруге. Поэтому до сих пор так мало о них и известно.

Законы субтрактивных смесей. Идя по пути сравнения с законами аддитивных смесей, которые изложены выше, найдем следующие *законы субтрактивных смесей:*

1. Закон непрерывности остается без перемен.
2. Существование метамерных цветов и здесь имеет место.
3. Одинаково кажущиеся краски большей частью дают различно выглядящие смеси.
4. Цвета смесей лежат большей частью на линии, соединяющей смешиваемые цвета в цветовом теле, но эта линия, обыкновенно, не бывает прямой.

Указать простой закон, коему она следует, мы не можем.

5. Результаты смесей определяются отношениями цветовых полукругов.

В то время, как правила 3 и 4 значительно затрудняют рациональное восприятие существующих здесь отношений, правило 5 указывает путь к нему.

Дополнительные цвета. Самые простые отношения мы встречаем у дополнительных цветов. При смешении двух полных цветов, которые являются друг к другу дополнительными, второй поглощает полностью все те лучи, которые пропустил первый, как это и следует из определения дополнительных цветовых полукругов. Таким образом, в результате, получается чисто черный цвет. В этом мы имеем первое, самое резкое отличие от аддитивных смесей, которые при смешении цветных секторов на вращающемся диске дают серое 50, суммативно же, в идеальном случае—белое 100.

Если же слагаемые не являются полными цветами, то мы получаем при их смешении только тогда серый цвет, когда области поглощения у обоих цветов расположены симметрично, так что переизбыточные световые лучи также являются дополнительными цветами. Этот серый есть, конечно, не полный серый. Цвет его сильно меняется в зависимости от освещения. Серый цвет, образованный из дополнительных цветов, по необходимости является наиболее чувствительным к такого рода изменениям освещения, так что его вид подвержен постоянным переменам. Поэтому и практически совершенно невозможно только посредством дополнительных цветов, субтрактивным путем, получить чисто серый цвет. Это возможно сделать при помощи трех цветов, совсем хорошо—пяти (см. ниже).

Если же области поглощения расположены не симметрично, то остатки от взаимного поглощения не являются дополнительными цветами и мы получаем уже хроматическую смесь вместо серой. При этом цветовые тона, благодаря взаимному разбавливанию, отклоняются в сторону зеленого (см. ниже). Это и есть история возникновения зеленого из желтого и синего. Из ультрамариновой синей и сернистой желтой никогда нельзя получить хотя бы наполовину чистый зеленый цвет. Он всегда содержит слишком много черного или серого. Нужно ультрамариновую синюю подвинуть в сторону ледяной синей, чтобы таким образом получить более чистый, а затем и чистейший зеленый, чему, в дальнейшем, мы дадим и теоретическое обоснование. К этому же правилу сводится и старый рецепт живописцев, как получить зеленый из желтого и синего.

Разбавление. Простые отношения мы имеем также при разбавлении красящих веществ, т.-е. при смешении их с белым цветом. При этом получаются светло-чистые ряды, если краска чистая. Если же она содержит черный цвет, то мы не получаем равно-черных рядов, так как содержание черного цвета не остается, ведь, постоянным, а уменьшается, благодаря разбавлению, сначала в том же отношении, как и чистый цвет. Соответствующая линия смесей в аналитическом цветовом теле пошла бы как прямая от данного цвета к точке белого, если разбавление обозначало бы лишь подмесь белого. Фактически, однако, содержание черного цвета в чистых или концентрированных красках, всецело или частично, основывается на том, что полоса поглощения в них гораздо шире, чем цветовой полукруг. Частичное поглощение и в области пропускания встречается только у специфически тусклых пигментов. Во всяком случае, разбавление действует в том смысле, что полоса поглощения становится уже и соответственный черный цвет исчезает. Линия смесей остается поэтому не прямой, но приобретает выгнутость кверху, так что она быстрее приближается к верхнему граничному конусу светло-чистых цветов.

Это соображение в общем об'ясняет тот наблюдающийся факт, что разбавленные краски бывают гораздо более чистыми, чем можно было бы ожидать по виду их концентрированных растворов. Оно также об'яс-

няет, почему так необычайно трудно бывает получить глубокие, т.-е. бедные белым цвета, которые не обладали бы в то же время большим количеством черного. Полосы поглощения, как известно, никогда вдруг не обрываются, а показывают всегда более или менее широкий постепенный переход в соседнюю область светопропускания. В то время, как у цветов, с большим содержанием белого, эти переходы остаются внутри цветового полукруга области поглощения и потому не обусловливают появления черного, они, по необходимости, попадают в область пропускания и являются причиной соответственного черного цвета, как только, при малом содержании белого, большая часть цветового полукруга занята областью поглощения. Этого можно было бы избежать только в том случае, если бы существовали идеальные полосы поглощения без переходов, которые при концентрации никогда не становились бы шире цветового полукруга. Но природа слишком далека от того, чтобы выполнять такое условие.

Вышеизложенное применимо раньше всего к теплым цветам. Холодные же цвета при естественном содержании черного цвета оказываются еще более склонными при увеличении концентрации обнаруживать свой излишек черного.

Цветовой тон. Вышеизложенное влияние разжижения на содержание черного цвета не является единственным. При разбавлении данного цвета наблюдается еще значительное и закономерное влияние этого разбавливания на *цветовой тон,* сказывающееся в том, что с увеличением степени разбавления цветовой тон приближается к точке цветового круга, лежащей приблизительно между 83 и 88, т.-е. на границе обоих зеленых. Цветовые тона, другими словами, при разбавлении их белыми приближаются к середине спектра.

И этот факт сам по себе давно уже известен. Для об'яснения же его необходимым является учение о цветовом полукруге.

Необходимо вспомнить, что спектральные цвета в цветовом круге обнаруживают пробел между красным и фиолетовым, т.-е. между 25 и 45. Соответственно этому поглощенные цветовые полукруги всех цветов от 00 до 20 с одной стороны и от 50 до 70—с другой стороны одной ногой стоят в этой неимеющейся в спектре области. Если же при разбавлении белым область поглощения становится уже, то граница видимости отодвигается назад в сторону соседнего конца спектра. Другими словами, она удаляется от области зеленых 75 до 95, которая противоположна пробелу в спектре. Вторая граница области поглощения движется в обратном направлении. Так как движение здесь, однако, происходит в области невидимого, то оно не имеет никакого влияния на цветовой тон. Во всех случаях результат таков, что благодаря разбавлению цвета белым большее количество зеленого цвета высвобождается, т.-е. цветовой тон передвигается в сторону зеленого.

В частности это означает, что при разбавлении белым второй и третий желтый передвигается в сторону первого желтого, и что все оранжевые цвета по мере разбавления становятся более желтыми. С другой стороны, ультрамариновый синий при разбавлении белым движется в сторону ледяного синего, а ледяной синий перемещается к морскому зеленому. Зато зеленый цвет и фиолетовый не меняются при разбавлении.

Особенным образом ведет себя красный цвет. У него также, как у фиолетового, цветовой круг состоит из двух отрезков одного в красном конце спектра, а другого в фиолетовом. Если оба отрезка приблизительно одинаковы, то они одинаково распространяются при разбавлении белым и цветовой тон в результате остается без перемен. Если же, на-

оборот, часть фиолетового сравнительно мала, то достаточно небольшого увеличения ее, чтобы вызвать большую перемену, выражающуюся в возобладании фиолетового. Отсюда следует, что красные цвета при разбавлении должны изменять свой цветовой тон в сторону фиолетового, что фактически и наблюдается. Так как, однако, это передвижение областей поглощения с увеличением разбавления еще в большой мере зависит от самой природы красящих веществ, то здесь это явление не так закономерно, как то мы видели раньше у желтых и оранжевых и также у обоих синих цветов.

У фиолетового цвета обе непоглощенные части спектра находятся в равновесии. Описанные выше особенные влияния отступают, поэтому, на задний план и влияние разбавления на цветовой тон ничтожно или равно нулю.

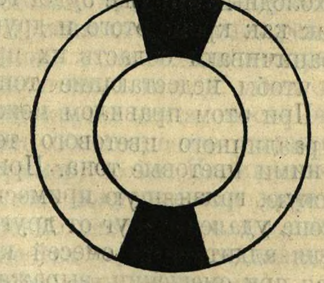
Можно было бы также у второго фиолетового, который находится между 40 и 50, ожидать найти вторичные влияния, подобные тем, какие мы видели у обоих первых красных цветов, лежащих между 25 и 30. Практика же здесь не показывает каких-либо заметных изменений цветового тона; тут недостает еще более основательного исследования вопроса. Можно напомнить, что у красного конца спектра передвижения полос поглощения бывают гораздо меньше и правильнее, чем в фиолетовом конце спектра с короткими волнами.

Опыты. Для того, чтобы более наглядно представить себе вышеизложенные отношения, можно поставить несколько простых опытов, которые не требуют сколько-нибудь сложной аппаратуры.

Вырезают круг из толстого картона диаметром в десять сантиметров и укрепляют его на тонкой палочке, в виде оси. Можно взять заостренную спичку. Это дает волчок, которому можно дать вращательное движение при ловком поворачивании палочки между большим и указательным пальцами (фиг. 36).



Фиг. 36.



Фиг. 37.

Из толстой же бумаги изготовляют круги диаметром в 6 сантиметров с дырочкой в центре, которые с некоторым трением и надеваются на ось волчка вплоть до картона. Они держатся сами собой. Бумажные круги накрашиваются красками, которые желают исследовать. Так как в таких опытах скорость вращения круга не может быть очень большой, то накрашивают желаемую краску для целей аддитивного смешения на одной половине круга, и повторяют то же самое на другой его половине, что равносильно двойному увеличению скорости. Для раскрашивания лучше всего пользоваться набором красок «Kleinchen», представляющих собою наиболее чистые из имеющихся ныне красок [1]). Накрашивают,

[1]) Наборы „Kleinchen" выпущены в продажу фирмой Гюнтер Вагнер в Ганновере.

например, весь внутренний круг (фиг. 37), разведенным ультрамариновым синим цветом, а черные части наружного круга накрапивают более густо той же краской. При вращении легко определить сделаны ли эти области более сильной окраски достаточно большими, чтобы внешний диск в цвете был равноценным с внутренним; если нужно, то можно увеличить эти секторы, или же сильнее накрасить внутренний круг.

Если равноценность достигнута, то сейчас же можно видеть, что внутренний круг, во-первых, кажется более чистым, а во-вторых, значительно более зеленым, чем наружный круг.

Таким путем приготовляют подобные же диски с главными цветами и удостоверяются на опыте в существовании вышеописанных явлений. Аддитивные смеси на наружном круге кажутся всегда более тусклыми, чем субтрактивные смеси на внутреннем, и это наблюдается в гораздо большей степени у холодных цветов, чем у теплых.

Таким же самым путем можно исследовать и другие соотношения цветов, о которых речь будет в дальнейшем. Для краткости мы не будем каждый раз особенно ссылаться на это.

Смеси различных цветовых тонов. В сравнении с различаемыми цветовыми тонами полного цветового круга, которых имеется около 400, цветовые тона пигментов распределены очень неправильно. В то время, как в красном их имеется множество, в обе стороны от красного цвета число их быстро уменьшается. Оранжевые и желтые тона представлены еще довольно богато, но уже около цвета 00 число красок становится небольшим. Лиственнозеленых красящих веществ почти не встречается, красок цвета морской зелени имеется очень немного. По другую сторону от красного, фиолетовый и ультрамариновый синий оказываются достаточно богато представленными. Красок для ледяного синего цвета так же мало, как и для морского зеленого. Поэтому, в области теплых цветов легко будет найти представителя для каждого тона; в области же цветов холодных это уже будет гораздо труднее.

Так как кроме этого и другие свойства красящих веществ во многом ограничивают область их применения, то уже издавна подумывали о том, чтобы недостающие тона цветов воспроизводить при помощи смесей. При этом правилом может быть следующее: при смешении двух цветов различного цветового тона можно получить все находящиеся между ними цветовые тона. При этом мы получаем тем большую ахроматическую, грязнящую примесь, чем дальше взятые для смешения цветовые тона удалены друг от друга.

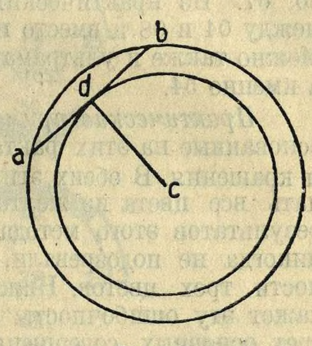
Для аддитивных смесей количество ахроматического, которое получается при смешении, выражается известной прямой линией на схеме. Это позволяет определить, как далеко друг от друга можно удалить смешиваемые цветовые тона, если желают допустить потускнение лишь в определенной степени. Оказывается, что для смешения при таких условиях нужно взять такие цвета, чтобы соединяющая их хорда касалась круга заданных тусклых цветов. Если cd (фиг. 38) есть радиус допустимого тусклого круга, то конечные точки a b касательной в точке d и дают расстояние, которое допустимо между смешиваемыми цветами. Передвигая линию a b по кругу, получим те исходные цвета, которые нужно брать для того, чтобы их смесь удовлетворяла условию заданной чистоты тона.

При этом в общем совершенно безразлично, с какой точки начинаешь. Но так как потускнение желтого, как одного из самых светлых цветов, больше всего бросается в глаза и мешает, то начальный пункт переносят в 00, если желают избежать этого.

Из рассмотрения фиг. 38 видно, что при пользовании лишь тремя цветами получаются очень тусклые смеси, так как внутренний круг, вписанный в треугольник, очень мал. Чтобы получить до известной степени равнозначные смеси, необходимо брать не менее 6—8 цветов и чем больше, тем лучше.

Особенности субтрактивного смешения. Вышесказанное относится, как уже упоминалось, к случаям аддитивного смешения. При субтрактивном смешении тотчас же видно, что линии смесей, которые соединяют конечные точки, уже больше не прямые линии, а изогнуты наружи. Субтрактивные смеси другими словами бывают *более чистыми*, чем аддитивные. Можно, поэтому, получить достаточно равнозначный круг и с несколькими основными, положенными в основание смешения, цветами.

Такое улучшение в разных местах цветового круга весьма различно. Наилучшей в этом смысле является область ледяного синего через зеленый, доходящая до желтого цвета. Смешением ледяного синего третьего с желтым 00 можно получить все промежуточные между ними цвета без потери в чистоте их; здесь, в этой трети круга, цвета смесей оказываются почти в равнозначном же круге. Это больше всего сказывается тогда, когда круг цветов богат белым, например, до 1а. Начиная от na, это становится гораздо более трудным, так как получить там достаточно чистый 00 na, 00 pa и так дальше совершенно невозможно, по той простой причине, что желтые красящие вещества при увеличивающейся концентрации меняют свой цветовой тон в сторону оранжевого.



Фиг. 38.

Такое улучшение в разных местах цветового круга весьма различно. Наилучшей в этом смысле является область ледяного синего через зеленый, доходящая до желтого цвета. Смешением ледяного синего третьего с желтым 00 можно получить все промежуточные между ними цвета без потери в чистоте их; здесь, в этой трети круга, цвета смесей оказываюся почти в равнозначном же круге. Это больше всего сказывается тогда, когда круг цветов богат белым, например, до 1а. Начиная от na, это становится гораздо более трудным, так как получить там достаточно чистый 00 na, 00 pa и так дальше совершенно невозможно, по той простой причине, что желтые красящие вещества при увеличивающейся концентрации меняют свой цветовой тон в сторону оранжевого.

Вторая большая область чистых смесей, которая охватывает, однако, самое большее, четверть цветового круга, лежит между 00 и 21 или 25. Самый глубокий желтый, как и самый глубокий оранжевый, можно смешать из первого желтого и третьего оранжевого, без потери в чистоте. В практике же берут вместо желтого 00 более оранжевый, а именно, желтый 04, так как такие красящие вещества более удобны, чем те, которые дают 00.

Оставшаяся часть цветового круга от 25 до 63 уже не дает подобных результатов. Указанные точки могут быть представлены киноварью и берлинской лазурью. Каждый живописец знает, что совершенно невозможно из этих двух красок получить чистый фиолетовый или ультрамариновый синий. Но также и ультрамарин с киноварью не дают чистого фиолетового, в то время, как из ультрамарина и берлинской лазури те немногие синие цвета, которые находятся между ними, можно

получить достаточно чистыми. Необходимо, поэтому, между 25 и 50 включить еще одно красящее вещество. В середине находится 38, первый фиолетовый или пурпурный. С помощью этой краски можно обе области между 25 до 38 и от 38 до 50 сносно об'единить. На практике же и здесь лучше брать еще одну краску, так как большинство ультрамариново-синих пигментов находится у второго или третьего ультрамаринового синего. Третьим красным 33 и вторым или третьим фиолетовым, т.-е. 42 или 46, можно вполне обойтись.

При обобщении всех этих чисто опытных результатов, приходишь к выводу, что при помощи самое меньшее пяти исходных красок, субтрактивным смешением можно получить все остальные цвета, равнозначного круга. Эти основные, исходные цвета находятся в 00, 25, 38, 50, 67. Из практических соображений включают еще один желтый между 04 и 08 и вместо первого фиолетового 38 берут два цвета 33 и 42. Можно также и ультрамариновую синюю взять немного более удаленную, а именно 54.

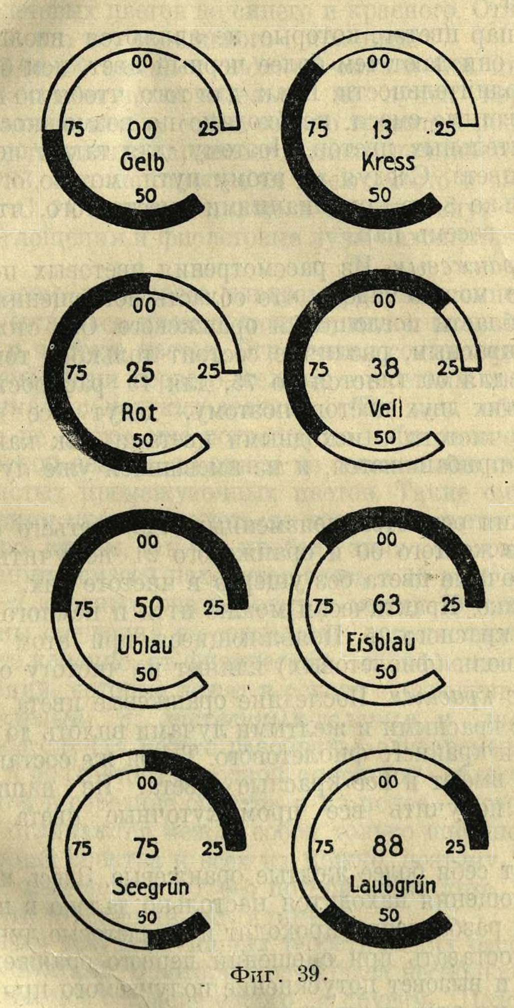
Практические применения. Важнейшие практические применения, основанные на этих фактах, касаются цветного печатания тремя цветами и крашения. В обеих этих областях было общепринято до сих пор получать все цвета из желтого, красного и синего. Неудовлетворительность результатов этого метода приписывали неудачному выбору красок, но никогда не подозревали, что ошибочна сама предпосылка о достаточности трех цветов. Ниже изложенное теоретическое исследование покажет эту ошибочность. Удовлетворительное получение всех цветов из трех основных совершенно невозможно; для этого необходимо минимум пять красок. Трехцветное печатание должно уступить свое место пятицветному печатанию повсюду, где требуется воспроизведение любого цвета цветового тела. Также и место крашения тремя красками должно занять методическое применение пяти основных цветов. Этим мы достигаем не только полного овладевания цветовым телом. Возможно, что еще больший выигрыш заключается в том, что большая зависимость окрасок, приготовленных по трехцветному методу, от цвета освещения (цветность днем и цветность вечером) совершенно исчезает при крашении пятью красками. На эту же зависимость было много жалоб, но до сих пор причин ее достаточно не понимали, а, потому, она и не устранялась. Между тем такая зависимость от освещения является непосредственным следствием ограниченности метода тремя лишь исходными красками.

Теория субтрактивных смесей. Принимая во внимание огромное многообразие сочетаний различных длин световых волн, которое является определяющим для субтрактивного смешения, полное изложение теории этого последнего представляется неисчерпаемо большой задачей. Мы должны будем, поэтому, ограничиться здесь лишь первыми основными положениями. После того, как они нам станут ясными в общих чертах, можно будет обратиться уже к об'яснению и единичных частных случаев.

Самый простой случай мы встречаем при смешении *полных цветов.* Они определяются соответственными цветовыми полукругами. Субтрактивное смешение состоит в том, что цветовые полукруги взаимно сокращают друг друга, благодаря тому, что полосы поглощения обоих слагаемых цветов остаются неизменными, в то время, как от пропускаемого одним слагаемым света остается только часть, а именно та, которая не была задержана полосой поглощения цветового полукруга другого слагаемого цвета.

Мы начнем с того, что опять воспроизведем в памяти все цветовые полукруги 8 основных цветов. Фиг. 39 дает все 8 цветовых полукругов цветов 00, 13, 25, 38, 50, 63, 75, 88 в таком виде, что в линии окружности области поглощения выкрашены в черный цвет, области же прозрачные (resp. отражающие) оставлены белыми. Что же касается того места, которое в спектре отсутствует, то там кольцевая линия окружности прерывается.

Если мы желаем теперь получить результат смешения двух красок чистых цветов, то представляем себе соответствующие им полукруги на-



Фиг. 39.

ложенными друг на друга. Всюду, где попадает черный цвет, мы имеем поглощение. Длина оставшихся белых областей и дает возможность определить чистоту смеси. Цветовой тон определяется для случая равенства смешиваемых частей и полной смеси ее геометрической серединой.

Случай же с неравными частями и «неполным» (anteiliger) смешением можно в первом приближении толковать таким образом, что области поглощения обоих цветов так сокращены пропорционально количествам этих частей, что центр области поглощения (лежащий в дополнительном цвете) не перемещается в сторону. Это соответствует тому

факту, что разбавление водой прежде всего выражается в сужении полосы поглощения; в общем это сужение не столь симметрично, как то принимают ради простоты.

На практике приходится также учитывать изменение цветовых тонов у таких цветов, полосы поглощения которых лежат с одной стороны в невидимом. В дальнейшем будут указаны те случаи, где такие влияния особенно себя проявляют.

Смеси соседних красок. Случай субтрактивного смешения дополнительных цветов был рассмотрен уже выше. Дополнительные цвета дают здесь черный цвет.

Для таких пар цветов, которые не являются вполне дополнительными, верно, что они дают тем более черный цвет, чем больше они приближаются к дополнительности. Итак, для того, чтобы по возможности получить чистые цветные смеси, необходимо по возможности избегать положения дополнительных цветов. Поэтому, для таких целей смешивают только *соседние* цвета. Следуя по этому пути, можно ограничить наши исследования только 8-ью комбинациями вместо того, чтобы рассматривать все двадцать восемь пар.

Желтый с оранжевым. Из рассмотрения цветовых полукругов желтого и оранжевого можно видеть, что область поглощения желтого находится вполне в области поглощения оранжевого. Оба стоят одной ногой в невидимом, за красным, различие состоит только в том, что видимая граница, которая для 00 тянется до 75, для 13 распространяется лишь до 88. Смеси из этих двух цветов, поэтому, дадут все промежуточные цвета одинаковой чистоты с исходными цветами, так как чуждые лучи при смешении не прибавляются, и из имевшихся уже лучей существенные не теряются.

Эти отношения остаются неизменными до третьего оранжевого 21. Поэтому можно из желтого 00 и оранжевого 21 получить путем смешения все промежуточные цвета без ущерба в чистоте их, что и подтверждается на практике. Практически можно итти и немного дальше,—примерно, до первого красного 25. Появляющиеся при этом малые количества кратчайших волн (фиолетовых) влияют на чистоту очень мало.

Оранжевый с красным. Последние оранжевые цвета между 20 и 25 содержит наряду с красными и желтыми лучами вплоть до лиственной зелени, также и лучи крайнего фиолетового. Такой же состав только в других соотношениях имеют и все красные цвета. Из наших двух цветов можно, поэтому, получить все промежуточные цвета в полной их чистоте.

Иначе держат себя более желтые оранжевые. Здесь конец коротких волн области поглощения находится настолько далеко в невидимом, что лишь при сильном разбавлении проходят и фиолетовые лучи. Этих лучей будет поэтому недоставать при смешении первого оранжевого с последним красным, что и вызовет потускнение получаемого при этом среднего красного. Так как мы этот средний красный видим на цветах, птицах и т. д., часто весьма чистым, то здесь наш глаз очень чувствителен к такого рода потускнению. Поэтому надо избегать смесей из первого или второго оранжевого со вторым или третьим красным. Это очень легко сделать, так как выбор красных красок большой чистоты очень велик.

Красный с фиолетовым. Оба цвета состоят из длинных и коротких лучей света, взятых лишь в различных пропорциях, как нас тому и учит взгляд на фиг. 39. Их смешение не представляет, поэтому, каких-либо трудностей и дает чистые промежуточные цвета.

Фиолетовый с ультрамариновым синим. Действие красного конца спектра кончается как раз у ультрамаринового синего 50. До этой точки имеются красные лучи. Таким образом, из первого ультрамаринового синего и фиолетового можно смешать все промежуточные цвета в чистом виде.

Эта возможность быстро исчезает у более высоких ультрамариновых синих, область поглощения которых находится в невидимом. Они пропускают красный цвет только при большом разбавлении их белым. Этим и об'ясняются те трудности, которые встречаются на практике при получении чистых фиолетовых цветов из синего и красного. Отношения здесь совсем подобны тем, что и у оранжевого с красным.

Ультрамариновый синий с ледяным-синим. Оба цвета не содержат вовсе красного и состоят исключительно из лучей коротких световых волн. Они отличаются между собой только границей полосы поглощения, которая для первого ультрамаринового синего начинается у 75, а для ледяного-синего у 88. Эти же отношения имеют место и дальше до третьего ледяного-синего. С 71 вступает также в спектральную область и второй конец полосы поглощения и фиолетовые лучи находящиеся там начинают исчезать.

Таким образом, из первого ультрамаринового синего и третьего ледяного-синего можно все промежуточные цвета получить путем смешения без потери в чистоте цветов. Отношения соответствуют тем, которые мы видели при смешении первого желтого с третьим оранжевым.

Ледяной-синий с морским-зеленым. Так как оба первых ледяных синих цвета не имеют еще поглощения в фиолетовом, каковое очень заметно для морской зелени, то они и не годятся для получения путем смешения их чистых промежуточных цветов. Такие смеси все-таки возможны из смешения цветов вплоть до третьего цвета морской зелени с ультрамариново- синим, так что пробела здесь не оказывается. Самая характерная граница смесей находится здесь в 70 и 71, подобно тому, как для оранжевого и красного она находится между 20 и 21. То обстоятельство, что границы смешения не совпадают с психологически главными цветами, зависит, конечно, от физической, а не психологической природы тех отношений, которые лежат в основе субтрактивного смешения.

Морской-зеленый с лиственным-зеленым и лиственный-зеленый с желтым. Эти оба случая можно разобрать одновременно, так как все цвета между 70 и 00 состоят из одной сплошной области пропускания, которая находится в середине спектра и из полос поглощения в обоих концах его. Они отличаются между собой только шириною этих полос поглощения на концах спектра и всех их можно, поэтому, получить из смешения крайних цветов 70 и 00 без потери в чистоте. Один взгляд на фиг. 39 делает эти отношения наглядными.

Если сравним результат наших теоретических рассуждений с практическими результатами, о которых речь была несколько выше, то можно констатировать полное согласие одного с другим. Подобно тому, как у оранжевого можно пойти несколько дальше теоретической границы 21, без того, чтобы смеси получались значительно более тусклыми, также можно вместо 70 взять ледяной-синий 67.

Можно еще поставить вопрос: почему зеленые цвета можно получить в таком большом об'еме при помощи смешения двух граничных цветов, дополнительные же к ним красные цвета, от третьего оранжевого, до последнего фиолетового, так не получаются. Ответ вытекает из существования пробела в спектре между 20 и 45. Для зеленых цветов безразлично, в какой области поглощения находится пробел, так как вся эта область

прямого влияния не оказывает. Для красных же цветов, наоборот, не безразлично где находится пробел, так как от его местоположения зависит доля участия коротких или длинных волн в цвете. В то время как, согласно учению о цветовом полукруге, в отношении *границ* данные цвета и дополнительные цвета вполне симметричны, мы этого не видим применительно *к содержанию* имеющихся световых лучей, так как здесь влияние пробела в спектре одностороние. Поэтому же мы видим недостаток симметрии и в отношении получающихся смесей.

Мы изложили важнейшие соотношения субтрактивных смесей. Этим мы и закончим изложение главнейших закономерностей субтрактивных смесей. Хотя мы здесь и имеем дело лишь с первыми шагами, однако, выигрыш для практики и от них уже достаточно велик. В зависимости от особенностей полос поглощения, которые у многих красок состоят из многих частей и границы коих при изменении силы света различно меняются, меняются и общие соотношения,—почему мы и не можем выразить их достаточно однозначно. В этом отношении учение о субтрактивных смесях отстает от учения о смесях аддитивных. Эта задержка развития есть, однако, лишь временная и не абсолютная, так как и соотношения субтрактивного смешения вообще говоря закономерны.

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ.

Физическая химия красящих веществ.

Общее. Основная связь между химией и учением о цвете состоит в том, что *поглощение* различных лучей света стоит в непосредственной и разнообразной связи с химической природой веществ. Это обусловливает то, что все вещества можно разделить, с первого же взгляда, на вещества со слабым лучепоглощением, называемые бесцветные, и с сильным лучепоглощением, называемым цветными. В общем, каждому веществу соответствует некоторая особая область колебаний лучистой энергии, поглощаемая им особенно сильно. Однако, очень часто эта область лежит вне видимых лучей, видимые же лучи не поглощаются. Цветная природа веществ есть, таким образом, их как бы случайное свойство, так как она сказывается в том, что (уже имеющееся) поглощение имеет место как раз между длинами волн от 400 до 700 миллимикронов, каковые вызывают в нашем глазу ощущение света и цвета.

В общем нельзя сказать, что поглощение бывает ограничено лишь одной областью числа колебаний; более правильную картину фактических соотношений получим мы тогда, если представим себе области поглощения и пропускания света, большей частью, закономерно-сменяющими друг друга. Для простейших веществ можно принять, что существует лишь одна такая система. Сложные же вещества, напротив, дают много рядов с различными закономерностями расстояний обеих этих областей, благодаря чему в области видимого спектра могут получаться разнообразнейшие соотношения.

В общем, лучепоглощение проявляет себя, прежде всего, как аддитивное свойство, связанное с атомами элементов; так, например, все производные хрома обладают поглощением в области видимого. Кроме того, здесь примешиваются и весьма значительные влияния конститутивного характера.

Все многообразие важнейших красящих веществ, добываемых из каменноугольной смолы, основано на этих последних.

Законченной теории этих явлений пока еще не существует. Мы должны пока-что ограничиваться лишь довольно малым числом частных правил.

Белые вещества. Для того, чтобы тело казалось белым оно должно выполнять два условия: одно оптическое, и одно механическое.

Оптическое условие состоит в том, что оно не должно поглощать лучей в области видимого спектра. Механическое же условие требует, чтобы это тело было смесью из двух или больше оптически-различных сортов частиц, частиц даваемых нам под углом зрения меньшим порога различаемости (одна угловая минута). Одной из составных частей во многих случаях является воздух.

Твердый кусок какого-нибудь непоглощающего свет или бесцветного тела всегда прозрачен. Если тело аморфно или правильно кристаллизовано, то свет проходящий через него следует обычному закону преломления. В других случаях имеет место двойное лучепреломление и поляризация. Падающий свет претерпевает частичное преломление. При выходе света из данного тела происходит то же самое. Отражение по большей части ничтожно; оно растет по мере возрастания коэффициента преломления.

При размельчании тела умножается число граничащих поверхностей между ним и воздухом, в котором оно находится. При этом число отражений и отраженное количество света увеличивается, количество пропущенного же света уменьшается. Если величина пропущенного света, практически, равняется нулю, то все количество света отражается как бы от очень маленьких зеркал, находящихся в самых различных положениях. Это означает, что тело *покрыто белым.* Если при этом нет вовсе лучепоглощения, то отражение и рассеивание света полное и тело является идеально белым.

Отсюда следует, что все вещества не поглощающие света, при достаточной чистоте, хорошей степени размельчения и достаточной толщине слоя, должны дать идеально белые слои. Практика подтверждает этот вывод в пределах известных границ.

Прежде всего мы легко убеждаемся при помощи микроскопа, что все белые вещества состоят из маленьких частиц (зернышек, волоконец, листочков) прозрачного материала. Белая бумага и белые ткани образованы из волокон, белые краски, как свинцовые белила и цинковые белила—из мелких зерен. То, что они очень редко дают идеально белый цвет об'ясняется имеющимся в них слабым лучепоглощением, как то имеет место у шерсти,—отчасти же механическим загрязнением их веществами поглощающими свет. Здесь вездесущая сажа со своей лучепоглощательной способностью и своей химической стойкостью играет важную роль. Если она попала в какой-нибудь порошок, то ее нельзя удалить оттуда ни химическим, ни механическим путем и от нее белый цвет тускнеет непоправимо. По этой-то причине и существует так мало идеально-белых порошков; при желании приготовить таковой нужно работать с особенной тщательностью.

Кроющая способность. Для того, чтобы красящее вещество соответствовало своему назначению, оно должно быть стойким по отношению к воздуху и свету, и должно хорошо крыть, т.-е. уже в тонком слое не должно пропускать света ни к нижней поверхности на которую оно нанесено, ни от нее.

Кроющая способность зависит от двух обстоятельств: от величины зерен краски и от коэффициента преломления. Отражение света есть следствие зеркальных отражений, которые имеют место при всяком пе-

реходе света от одной среды в другую. Данное количество вещества на данной поверхности кроет, поэтому, тем лучше, чем меньше его частицы, так как вместе с этим увеличивается число зеркальных отражений и, следовательно, общее количество отраженного света. Благоприятное влияние уменьшения величины зерен красящих веществ кончается там, где эта величина зерен достигает порядка длины световой волны, которая приблизительно равна половине тысячной доли миллиметра. Зернышки меньшего размера не дают уже больше правильного отражения; они тем меньше мешают прохождению света сквозь них, чем они меньше. Мы имеем достаточно веские основания полагать, что все тела состоят из атомов или молекул, находящихся в пустом пространстве, и что они, следовательно, неравномерно наполняют пространство, подобно какому-нибудь порошку, находящемуся в воздухе. Все-таки чистые тела вполне прозрачны, если нет неоднородности частиц больших, чем половина тысячной доли миллиметра. Для кроющей способности самой лучшей величиной зерен является, поэтому, величина в $^1/_{1000}$ миллиметра, при которой можно данную поверхность покрыть наименьшим количеством вещества. *Цинковые белила* достаточно близки к этой оптимальной величине. Поэтому-то они и кроют, при одинаковом весе, в три раза лучше, чем свинцовые белила, хотя эти последние по другим своим свойствам (величина коэффициента преломления) и лучше цинковых белил.

Второй величиной, от коей зависит кроющая способность, является показатель преломления, и именно относительная его величина по сравнению с показателем преломления среды, окружающей частицы краски. Окружающим в данном случае может быть воздух или какое-нибудь коллоидальное связывающее вещество, которое связывает крупинки краски между собой и прикрепляет их к поверхности. Большей частью мелкие крупинки связываются каким-нибудь особым связывающим веществом, а не воздухом. Оно не заполняет всегда *все* промежутки между крупинками краски, но здесь присутствует и воздух.

Так как воздух обладает очень малым коэффициентом преломления, близким единице, то в отношении кроющей способности он представляет собою самые лучшие условия. Поэтому, мел с клеем или тому подобными связывающими веществами, которые легко растворяются в воде, дает хорошо кроющую краску. так как после испарения воды остаются пустые пространства, заполненные воздухом, которые и улучшают кроющую поверхность. С маслом, лаком, олифой и подобными связывающими веществами, которые также после затвердения заполняют промежуточные места, мы не получаем хороших окрасок. Их показатель преломления равен 1,60 и достаточно отличается от показателя преломления воздуха (1,0), зато мало отличается от показателя преломления льняного масла, а именно 1,5.

Благодаря таким большим показателям преломления неводных связывающих веществ не многие связывающие вещества пригодны для изготовления белых красок. Прежде всего сюда относятся свинцовые белила, смесь углекислого свинца с гидратом окиси свинца (с показателем преломления 2,04); затем цинковые белила—окись цинка (с показателем преломления 2,01). Наконец, титандиоксид, который в последнее время изготовляется в виде титановых белил (с показателем преломления 2,71).

Более подробное изложение этих вопросов можно найти у *V. Goldschmidt'a. Die weissen Farben in Natur und Technik*, в журн. «Die Farbe», 1921 г., № 4. Следует лишь дополнить несколько излагаемую им историю разработки этих проблем. Мои мысли об условиях кроющей способности красок с научной точки зрения были опублико-

ваны не в 1915 году, а в 1904 в моих «Письмах о живописи» (русс. пер., Изд. Гроссман и Кнебель, Москва, 1905 г.). Я не говорю там о полном отражении, с чем *Гольдшмидт*, так горячо полемизирует.

Внутренняя оптическая неодинаковость. Наиболее распространенным белым красящим веществом являются свинцовые белила, т.-е. смесь из углекислого свинца и гидрата окиси свинца. Если мы это красящее вещество смочим маслом, то легко можно под микроскопом видеть его составные части. Также можно разглядеть их еще лучше, если мы покрасим их подобно тому как красят свои препараты гистологи. Двухромо-калиевая соль или эозин окрашивают в желтый или красный цвет только гидрат окиси, но не углекислую соль.

Чистая углекислая соль свинца как кроющий белый мало ценна, несмотря на то, что ее коэффициент преломления велик. То же самое можно сказать и про чистый свинцовый купорос, применяемый в смеси с основной сернокислой солью.

Белая минеральная, широко применяющаяся краска — литопон — есть смесь из сернобариевой соли и сернистого цинка. Эта краска, будучи приготовлена на масле, кроет гораздо лучше сернистого цинка, хотя сам сульфат бария (коэффициент преломления 1,64) в масле кроет нехорошо.

При соответствующем добавлении мела к цинковым белилам получаются краски, которые кроют не хуже, чем чистые цинковые белила, хотя мел в масле сам по себе вовсе не обладает кроющей способностью.

Все эти факты указывают на одну общую причину и позволяют установить технический принцип для приготовления хорошо кроющих красок. Он состоит в том, что те оптические различия, которые необходимы для покрывания, переносятся уже на твердое тело, которое составляется из двух (или более) бесцветных веществ, обладающих достаточно различными коэффициентами преломления. Я имею подобную мысль уже давно, хотя ничего об этом и не опубликовал. Первые сообщения касательно затронутого вопроса опубликованы впервые *В. Гольдшмидтом* («Die Farbe», №№ 4, 7), самостоятельно пришедшим к такому же пониманию.

Из этого видно, что на этом пути имеется еще очень много возможностей для изготовления белых красок, хорошей кроющей способности.

Измерение кроющей способности. Хорошее знакомство с кроющей способностью краски имеет большое значение для различных отраслей искусства и промышленности. Прежняя специальная литература приводит на этот счет очень мало соображений и к тому же в них отсутствует достаточное научное обоснование. Новая же наука о цвете полностью и основательно выяснила этот вопрос и указала простейшие средства количественного исследования каждого данного случая (W. Ostwald. Die Lehre von der Deckung. Farbe, 19, 1921 г. и 31, 1923 г.).

Кроющая способность состоит в закрывании данной поверхности нанесенным слоем краски. Она зависит, поэтому, от прозрачности данного слоя. Если этот слой вполне прозрачен, то его кроющая способность равна нулю; если он совсем не прозрачен, то его кроющая способность равна единице; между такими пределами лежат все остальные величины.

Кроме этого кроющая способность зависит от качеств слоя и его толщины. Первый пункт только что в общих чертах изложен: второй же мы разберем впоследствии. Разберем раньше всего вопрос о *белых* кроющих красках.

Мерой кроющей способности является *коэффициент прозрачности*, т.-е. доля падающего света, которая проходит через слой, с толщиной, рав-

ной единице (1 сантиметру). Если обозначим через d толщину какого-нибудь слоя краски, с коэффициентом прозрачности Z, то b, количество света, прошедшего сквозь данный слой, будет равняться $b = Z^d$.

Отсюда вытекает прежде всего: что абсолютно непрозрачных слоев вообще не существует, так как b никогда не бывает равным нулю, хотя бы Z было очень маленьким, а d очень большим. Так как порог различения для различных яркостей в среднем равен 0,01, то при величинах b меньших чем 0,01 мы достигаем уже границы, при которой покрывание практически является полным.

Для согласования с нормами серой шкалы можно принять порогом десятую ступень ряда a c e g . . . , т.-е. v, вследствие чего границей будет уже 0,0089 вместо 0.01. Тогда мы можем, зная коэффициент пропускания Z, вычислить для каждого вещества ту толщину слоя d_0, при которой наступает практически полное покрытие. Так как из уравнения $0{,}0089 = Z^{d_2}$ или $-2{,}05 = d_0 \log Z$, откуда следует $d_0 = -2{,}05/\log Z$.

Эта формула верна, если свет проходит сквозь данный слой лишь один раз. Обычно, однако, речь идет о слое, нанесенном на что-нибудь. Предположим, что та поверхность, на которую слой нанесен, совершенно белая; тогда весь свет от нее отражается и вторично проходит через наш слой; последний, поэтому, должен быть вдвое тоньше, чем было вычислено по вышеприведенной формуле. Поэтому, если назовем толщину слоя при таких условиях через C_0, то

$$C_0 = -1{,}025/\log Z.$$

Так как logZ всегда отрицателен, то C_0 будет положительно.

Здесь предполагается знание величины коэффициента пропускания Z. Обычно, однако, он бывает нам неизвестен и спрашивается, как велика кроющая способность некоторого слоя, наносимого на поверхность при определенных условиях (напр., при печатании). Эта кроющая способность характеризуется величиной дроби b, показывающей сколько света прошло сквозь данный слой. При этом следует иметь в виду Фехнеровский закон: меры кроющей способности должны быть взяты из геометрического ряда светлот.

Последний же дается малой шкалой серых цветов. Представим себе, что какая-нибудь белая краска нанесена на поверхность, имеющую черноту V; слой краски будет выглядеть белым, если кроющая способность, принимая здесь во внимание порог, совершенна, т.-е. если слой темнее неограниченно-толстого слоя этой же краски менее чем на 0,0089. Если же мы имеем неполное покрытие, то слой будет казаться серым, совпадая или сближаясь с одной из ступеней серой шкалы a c e g . . . v. Если мы положим v = 0, t = 1, r = 2 и т. д., то кроющая способность данной краски выразится одним из этих чисел, при чем 10 будет обозначать полное покрытие, а 0 полное пропускание. Так как этих крайних ступеней в практике, обычно, не встречается, то при измерениях можно довольствоваться обыкновенной малой шкалой бело-черного, каковую для этой цели и обозначают, исходя от ступени *a*, цифрами 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1. Белые типографские краски в обычных условиях дают значения от 5 до 7-го. Если краска имеет значение 5 или больше, то при двукратном наложении ее наступает уже практически полное покрытие.

Таким образом, для измерения белого накрашивания на глубокой черной поверхности мы располагаем в качестве научно обоснованного метода измерения кроющей способности малой шкалой серого, позволяющей нам получать значения от 0 до 10.

При этом, правда, делается то предположение, что черная поверхность равна ступени v, краска же бела, как a. Фактически встречающиеся

отклонения от этого практически настолько незначительны, что ими можно пренебречь.

Получаемые такими методом цифры характеризуют непосредственный эффект данной покраски. С утолщением ее меняется и этот эффект и притом в порядке геометрической прогрессии, соответствующие же показатели кроющей силы, даваемые шкалой, растут в прогрессии арифметической. Если, напр., данный слой дает по шкале значение 3, то двойной слой дает 6, тройной 9, после чего достигается полное покрытие. Это простое соотношение также важно практически.

Если мы хотим характеризовать общие кроющие способности данных красок, то нам следует,—так как мы покупаем краски по весу, а не по об'ему,—найти показатель их кроющей способности, отнесенной к единице веса, взятой для покрытия определенной единицы площади. Работы, ведущиеся для установления таких показателей, пока еще не закончены. Произвести взвешивание листа перед закраской и после нее измерить закрашенную площадь не трудно; отсюда же мы определяем вес краски, приходящейся на 1 квадратный сантиметр; поэтому, проведение вышеупомянутых работ не представляет каких-либо принципиальных трудностей. Следует лишь посредством таких взвешиваний определить среднюю толщину слоя и сообразно с этим выбрать норму.

Кроющая способность и окрашивание. Лессировочные краски не обладают кроющей способностью в собственном смысле слова. Это видно из того, что если мы нанесем их столь толстым слоем, что грунт больше не просвечивает, то они выглядят черными; если же они проявляют свой цвет, то они должны пропускать и цвет основания, на которое они нанесены.

При этом, совершенно различно ведут себя теплые и холодные лессировочные краски. Первые остаются прозрачными и в самых толстых своих слоях, с какими фактически на практике приходится иметь дело; они дают возможность просвечивать сквозь них. Если положить тонкий слой прозрачного лака цвета лиственной зелени, желтого, оранжевого или красного на поверхность напечатанной бумаги, то печать всегда можно будет прочесть. Холодные лессировочные краски: фиолетовую, ультрамариновую синюю, ледяную-синюю и морскую зелень, наоборот, можно очень легко нанести такими слоями, что основание совсем покроется и не будет видно. Краски в таком случае кажутся черными. Это обусловливается тем, что холодные цвета по природе своей содержат в себе много черного, что при таких обстоятельствах весьма и сказывается. Если теплые лессировочные краски *тусклы*, т.-е. содержат черный цвет, то и они ведут себя так же, как то и можно наблюдать на коричневом цвете (оранжевом и красном, содержащими черный).

Та различная ясность, с которой грунт (например, черные буквы на белом фоне) проглядывает сквозь слой лессировки зависит еще от светлоты цветового тона. Яснее всего буквы видятся под желтой лессировкой, затем идет лиственная зелень и оранжевый, красный находится на границе.

Эти явления имеют некоторое сходство с кроющей способностью в собственном смысле слова и большей частью фигурируют под одним и тем же названием. Их необходимо, однако, коренным образом отличать друг от друга, а, потому, к ним и следует применять термин *окрашивание*. Кроющей способностью обладают такие краски, частички которых сами по себе отражают свет и, поэтому, не позволяют ему проникать в вещество краски на большую глубину и достичь грунта—основания.

Краски же не обладающие кроющей способностью или лессировочные пропускают свет вплоть до основания, откуда он и отражается обратно; они поглощают при этом известные лучи света, что и обусловливает тот цвет, который им присущ.

Это различие можно лучше всего выяснить на простейшем примере с *серыми* цветами. Для того, чтобы получить на бумаге определенный серый цвет, например i, можно или покрыть данную поверхность определенной кроющей краской (гуашью) желаемого цвета или можно черную краску, например, тушь, разбавлять водой в такой мере, чтоб данная покраска дала цвет i. В первом случае серое i получается благодаря кроющей способности вещества, во втором, благодаря окрашиванию. В первом случае влияние поверхности, на которую чернота наносится, остается совершенно ничтожно, а во втором, оно значительно сказывается на характере возникающего цвета. При неполной кроющей способности основание безусловно влияет постольку, поскольку оно не прикрыто краской всецело и полученный цвет есть результат, главным образом, аддитивного смешения цветов. Цвета же получаемые при помощи лессировки на цветном фоне суть, наоборот, определенно выраженные субтрактивные смеси.

Черные краски. Так как абсолютно все прозрачные вещества при достаточном размельчении дают белые пигменты, то можно было бы предполагать, что благодаря противоположному процессу, из всех поглощающих веществ могли бы образоваться черные пигменты. Выводы из подобного предположения заставляют видеть условие черноты цвета в крупных размерах, составляющих краску зерен. Это условие противоречит, однако, общеобязательной технической предпосылки, касающейся пригодности красящего вещества.

Скорее всего, приходится ожидать практически полного лучепоглощения черной краской, несмотря на ее измельченность, лишь в том случае, если коэффициент прозрачности ее весьма мал и лучепоглощение при минимальной толщине слоя оказывается уже почти полным. Этому условию удовлетворяют лишь очень немногие из известных нам веществ. Таковы некоторые металлы, в особенности платиновой группы, магнитная окись железа и углерод. Сюда же примыкают, правда с несколько избирательным поглощением, некоторые высокомолекулярные органические красящие вещества, вроде нигрозина и т. п.

Практическое применение находят себе для черных и серых цветов краски платиновой группы в керамике, в особенности же в живописи по фарфору. Применение их, однако, очень ограничено, благодаря их большой стоимости. Магнитная окись железа, как вполне непрозрачное вещество, применяется в живописи по стеклу. Другого применения магнитная окись железа себе не находит, вследствие своего легкого обесцвечивания под влиянием окисления. Таким образом, практически, для общего употребления, остается лишь один углерод, который уже в течение многих тысячелетий в различном виде и применялся как черная краска.

Углерод, взятый в очень тонком слое и в коллоидальной форме, бывает прозрачным и имеет краснобурый оттенок. Это можно видеть в тонких слоях сажи и в жидкой туши, которая содержит коллоидальный углерод. Но уже мало-мальское увеличение толщины слоя достаточно для того, чтобы распространить его поглощательную способность на все видимые лучи света, и тогда углерод выглядит чисто черным. Коричневый же цвет некоторых сортов сажи и угля происходит не от его коллоидального состояния, но от примесей некоторых высокомолекулярных пирогенных соединений углерода, которые, благодаря недостаточной температуре, не обуглились.

Сажа и чернение. Различают два сорта пигментов из угля в зависимости от их происхождения и их свойств. *Сажей* называется достаточно чистый углерод, свободный от пепла, который осаждается из пламени при сжигании, происходящем со слабым притоком воздуха или при местном охлаждении. В зависимости от горючего материала различаются следующие сажи: газовая, масляная и древесная сажа.

Сажа тем чернее, чем она лучше измельчена. Последнего можно добиться, поддерживая возможно низкую температуру пламени и не допуская последующего нагревания уже осажденной сажи. Это условие легче всего достигается для газовой сажи, которая и является самой черной. Черные краски, которые до сих пор оценивались лишь сравнением с сохранящимися пробами, можно теперь вполне точно измерять в полутеневом фотометре. Так как сажа отражает только от четырех до одного процента падающего света, то необходимо позаботиться о хорошем освещении или достаточной адаптации глаза, т.-е. надо иметь непроницаемую для света темную камеру. С применением проволочной сетки перед щелью у нормального белого цвета, потемнение которого нам известно, можно расширить щель и тем избежать ошибок, которые возможны при измерениях, производимых с узкой щелью.

В красках, в коих связывающим веществом является вода, сажу нехорошо применять. Благодаря своему чрезмерному размельчению, она легко выделяется из смесей, выступая на поверхности, создавая этим неравномерность покраски. С малой примесью другой краски или вовсе без такой примеси покраски сажей очень чувствительны к надавливанию, которое оставляет на них блестящие пятна. С масляными связывающими веществами эти недостатки исчезают и тонкие затирки сажи с льняным маслом служат со времени Гутенберга типографскими красками.

Чернью (Schwärzen) называются порошки из аморфного угля, которые получаются при нагревании органических соединений. Они всегда содержат пепел (золу), иногда даже в больших количествах. Они приготовляются или из целлулозы и других углеводов, которые имеются в частях растений, или же из костного клея. В первом случае органическое вещество переходит в уголь без плавления и формы клеточных стенок сохраняются. Уголь тем лучше размельчен, чем тоньше клеточные стенки. Пробка и торф в данном случае являются наиболее продуктивным сырьем; содержание пепла не существенно. Клей претерпевает перед обугливанием плавление и дал бы, поэтому, грубый, не удобный к употреблению остаток угля, если бы обугливание не происходило при органическом смешении клея с фосфатом кальция, как то имет место в костях. Не плавящаяся зола обусловливает там тонкое измельчание остатка угля при его растирании, что делает этот костяной уголь особенно пригодным для целей покраски.

Черни изготовленные из кости называются: черная слоновой кости, франкфуртская черная, парижская черная и т. д.; животным углем называют не вполне обуглившуюся черную из костей, имеющую, поэтому коричневый оттенок.

Черни (Schwärzen), в отличие от сажи, содержат не так тонко измельченный уголь. Содержание золы доходит в них до половины всего их веса, а иногда и больше. Поэтому они не так «сильны», как сажа. Сажа в масле может смешиваться с очень значительными количествами других веществ без того, чтоб от этого значительно светлеть, что мы и видим на типографских красках. Подмешиваемые краски при этом лучше выбирать такие, у которых показатель преломления близок к показателю

преломления масла; в таком случае просветление от подмеси их будет наименьшим. При более грубой зернистости черные красящие вещества лучше разводить в воде («акварельные краски»).

Влиятельность цветной краски. Только что упомянутое качество красок имеет очень большое значение при их применении. Так как цветные краски в чистом виде часто бывают гораздо глубже, т.-е. выглядят содержащими в себе меньше белого цвета, чем требуется, то их просветляют белыми красками, которые большей частью гораздо дешевле цветных. Чем меньше требуется цветной краски для достижения желаемой глубины цвета, тем выгоднее ее применение.

Новое учение о цвете дает возможность выразить эти отношения в числах. До сих пор возможно было сравнивать, в отношении влиятельности только краски одного рода, таким образом: брали как тип какую-нибудь пробу краски и разбеливали ее в определенной пропорции белым, например, в отношении 1 : 10, при чем определяли то количество белой краски, которое необходимо при замене данной пробы другой, для того, чтобы получить так же выглядящую смесь. «Влиятельности» красок относятся друг к другу тогда так, как количества подмешанной белой краски.

Для того, чтобы этот метод мог найти себе вообще применение, необходимо разработать в нем самое главное. Что определяет глубину цвета? Ответ гласит: содержание белого в краске. Поэтому сперва вообще устанавливают то содержание белого цвета, до которого разбавили данное красящее вещество. Цифровой величиной «влиятельности» краски и будет тогда вес белой краски, которая необходима для того, чтобы достичь этого содержания белого цвета, вес, взятый в отношении к единице веса данного цветного или черного красящего вещества.

Как можно видеть, здесь надо нормировать еще две величины, а именно: содержание белого цвета и ту белую краску, которой разбеливают.

Относительно первого пункта необходимо добавить, что содержание белого в разбавленной краске во всяком случае должно быть большим, чем у наименее глубокой краски, имеющей практическое применение. Таковой же оказывается зеленая земля с процентным содержанием белого 40. Поэтому, самым удобным будет взять как норму для белого цвета пятьдесят процентов. После 100 это самое простое число и с ним удобно иметь дело.

Вопрос же о нормальной белой краске требует еще пространных технических рассуждений, для которых в настоящее время у нас нет достаточно материала. Необходимо, поэтому, пока-что предварительно остановиться на какой-нибудь краске. Я предлагаю, впредь до окончательного решения вопроса, *цинковые белила*, которые имеют преимущество высокой белизны и прекрасной измельченности. Раньше, чем будет установлена удовлетворительная норма, необходимо изучить в достаточном об'еме законы разбавления красок. Хотя теоретическое и практическое значение этого вопроса очень велико, до сих пор разработкой его не занимались. В этом тоже мы видим следствие того, что не было еще выработано метода измерения цветов.

Если мы примем пока наше предложение, то, впредь до дальнейшего, определение «влиятельности» краски будет гласить:

«Влиятельность» краски определяется числом граммов цинковых белил, которое в смеси с 1 граммом данной краски дает цвет, оптическое содержание белого в коем равно 0,5 (т.-е. 50%).

Для того, чтобы проделать такое измерение, устанавливают посредством грубого опыта, насколько приблизительно велико это требуемое количество цинковых белил. После, когда уже имеется несколько опытов, легко будет определить эту величину. Тогда приготовляют, промеряя их через поглощающий светофильтр, несколько точных смесей, между которыми лежит и смесь с 50% белого. Отсюда определяют графическим путем на миллиметровой бумаге, или же простым подсчетом, то необходимое количество цинковых белил, которое надо брать, чтобы получить 50% содержание белого цвета. Полученные таким путем цифры у минеральных красок лежат приблизительно между 0 и 30, у черных красок и у сажи несколько выше, наивысшими же они бывают у органических красок, у которых они иногда превосходят даже 1.000.

В хозяйственном отношении такие определения еще более важны для крашения. Здесь место цинковых белил занимает соответствующая белая ткань, как-то: шерсть, хлопчатая бумага (ситец), шелк. Если ткань сама по себе содержит черный цвет, как, напр., не беленная шерсть, то необходимо соответственно уменьшить и норму. Законы, на которые мы должны здесь обратить внимание, требуют еще дальнейшего детального исследования.

Коллоидальный углерод. Посредством механической или химической обработки можно углерод привести в коллоидальное состояние. Он состоит тогда из крупинок, величина которых меньше, чем длина световой волны, плавает на поверхности в водных растворах, проходит сквозь фильтрованную бумагу и проявляет наибольшую влиятельность. При этом он имеет уже не чисто черный цвет, но пропускает свет длинных световых волн (красный) и выглядит, поэтому, в тонких слоях, краснокоричневым.

Одна из его форм известна уже много тысяч лет—это китайская тушь. Она с особенной тщательностью готовится из сажи, при чем к саже добавляется еще значительное количество клея. Эта смесь, к которой подмешивают еще секретные прибавки, формируется в плитках, которые затем долго механически обрабатываются при помощи удара на наковальне. Чем дольше продолжается эта обработка, тем дальше идет размельчение сажи и тем лучшей становится тушь. Наконец, эти куски формуются в промасленных деревянных моделях и медленно сушатся в теплой золе. Такая тушь, разведенная водой, благодаря измельченности своих частиц, проникает в поры бумаги, где и коагулируется, и после высыхания уже не смывается.

В Европе предпочитают приготовлять тушь в жидкой форме. Связывающим веществом служит раствор шеллака в буре, который после высыхания на бумаге становится нерастворимым и защищает тушь от смывания.

В последнее время получили большое развитие механические приспособления для получения веществ в коллоидальном состоянии (коллоидальная мельница *Плаусона)*, таким образом, напр., можно получить более дешевый коллоидальный углерод, чем при помощи очень длительного растирания на камне и т. п. Существуют также и химические средства для этой же цели. Они сводятся к тому, что соответствующие порошки подвергаются химическому протравлению с поверхности (в данном случае посредством сильных окислителей); при вымывании реактивов вещество переходит в коллоидальный раствор.

Очень важным для получения и сохранения таких растворов является одновременное присутствие других коллоидов, которые легко переходят в это состояние и долго его сохраняют, а затем переносят эти же свойства на другие менее постоянные коллоиды. Их называют защитными

коллоидами (Schutzkolloide). Тут мы имеем дело с рыхлыми неустойчивыми образованиями, в коих нужно предполагать участие электрических сил (заряды ионов). Таким образом, клей в китайской туши влияет как защитный коллоид, который, повидимому, сильно облегчает достижение коллоидального состояния и при очень простой механической обработке.

Коллоидальное состояние. Все тела,—правда, не с одинаковой легкостью,—могут быть переведены в коллоидальное состояние, при котором величина частичек равняется 0,001 до 0,00001 мм. Так как мы здесь имеем дело с величинами того же порядка, что и длина световых волн, то, следовательно, здесь следует ожидать особенно богатого многообразия цветов.

Во-первых, все вещества, обладающие сильной лучепоглощательной способностью, в коллоидальном состоянии становятся прозрачными, и тем в большей мере, чем меньше их частички. Таким путем проявляют цветность и такие вещества, которые при обыкновенных условиях ее не обнаруживают, в особенности это касается веществ, обладающих металлическим блеском. Между прочим, в темно-красных стеклах и глазури, которые получаются при помощи золота, красящим веществом является коллоидальное золото. Также коллоидальная медь дает стеклянные сплавы, окрашенные в особый темно-красный цвет. Все то, что нарушает это коллоидальное состояние, влияет обесцвечивающим образом.

Один из красивейших наших красящих веществ — ультрамарин, обязан своим роскошным синим цветом, по всей вероятности, коллоидальной сере. Такие чистые цвета как ультрамарин имеют непременным условием то, что величина частичек коллоида повсюду равномерна. Какое обстоятельство вызывает это явление у ультрамарина, пока еще не выяснено, так как вопрос под таким углом зрения не был поставлен и не разрабатывался. Но из одного этого примера можно уже предполагать, что здесь имеются непредвиденные еще возможности для выработки ценнейших красок, так как невероятно, чтобы этот случай оказался единственным в своем роде. Можно же ведь синий ультрамарин превратить в красный (гораздо меньшей влиятельности), цвет которого опять-таки приписывается коллоидальной сере; коллоидальное золото также, ведь, может обладать красным и синим цветом.

Получение вещества в коллоидальном состоянии. В основном можно различать два противоположных способа получения вещества в коллоидальном состоянии. Один способ состоит в том, что для данного вещества создают такие условия, которые исключают возможность образования больших частиц, другой же исходит из уже готового твердого (или жидкого) вещества и размельчает его до коллоидальной величины частиц.

Как пример первого способа, можно привести получение коллоидального золота при помощи восстановления формальдегидом очень разбавленного раствора хлористого золота; золото получается в такой смеси как коллоид. Или же образование коллоидального трехсернистого мышьяка из раствора мышьяковистого ангидрида и сероводорода. В общем, почти при каждом осаждении нерастворимое вещество раньше всего получается в коллоидальном состоянии. Но присутствующие другие вещества вызывают очень часто свертывание коллоида, т.-е. образование более грубых частиц, так как этот, свободно идущий процесс, благодаря присутствию других веществ, сильно ускоряется. В этом смысле действуют соли, включая сюда кислоты и основания. Поэтому, вышеупомянутое образование трехсернистого мышьяка представляет собой идеальный случай, так как здесь получается только вода, а не электролит, вызывающий свертывание. В этом и состоит преимущество большого разбавления, которое сильно препятствует влиянию имеющихся электролитов.

Очень важную роль играют в таких случаях защитные коллоиды, на которые раньше уже было указано. В их присутствии можно многие вещества поддерживать в коллоидальном состоянии в то время, как при иных условиях они быстро свернулись бы.

Другой путь, который от уже готового вещества ведет к коллоиду, раньше также уже был указан. Способ механического размельчания красок применялся уже в течение многих веков; камни для растирания красок и другие орудия краскотера, при соответственной потере времени, довольно близко ведущие к цели, представляют собой дошедшие до нас принадлежности прежней мастерской художника.

Химический способ требует еще более глубокого изучения. Для некоторых свернувшихся и высушенных коллоидов, которые больше уже не расходятся в воде, существуют вещества, которые, будучи подмешаны в очень небольшом количестве, дают вновь коллоидальный раствор. Так, из берлинской лазури в воде, которая с трудом поддается тонкому растиранию, при прибавке щавелевой кислоты, получается темно-синяя жидкость, которая содержит красящее вещество в тончайшем измельчении, и которая опять выпадает при прибавлении мела, литопона и т. п. Таким путем можно совсем избежать растирания при желании получить краски в измельченном виде. Здесь мы имеем дело, повидимому, с процессом превращения необратимого коллоида берлинской лазури в обратимый и свободно растворимый коллоид берлинская лазурь—щавелевая кислота, при чем здесь соединяется маленькая молекула щавелевой кислоты с очень большой молекулой берлинской лазури.

Труднее понять способ протравления, который был найден эмпирическим путем, и в некоторых областях (напр., в производстве нитей для калильных ламп) привел к значительным техническим успехам.

Хроматические красители. Число хроматических красящих веществ так велико, что совершенно невозможно их перечислить, не говоря уже об описании каждой краски в отдельности. Из этого числа большая часть падает на красящие вещества, находящиеся в каменно-угольной смоле, производные бензола, нафталина, антрацена и многих других углеводов, к которым присоединяются еще и другие кольцеобразные соединения с кислородом, азотом, серой и т. д. Эти образуют отдельный класс красителей, о котором самое необходимое будет сказано впоследствии. Пока же мы опишем гораздо менее многочисленные краски, красящая способность которых основана на поглощении света совсем другими элементами, а именно металлами.

В общем здесь можно сказать, что цветность веществ является, прежде всего, суммарным качеством составляющих их элементов. Если распределим эти последние на три класса:

I — бесцветные элементы,
II — слабо-цветные »
III — сильно-цветные »

то соединения

I — I дадут бесцветность,
I — II » слабую цветность,
I — III » заметную »
II — II » умеренную »

Это правило верно, однако, лишь в общих чертах с некоторыми (конститутивными) отклонениями.

Цветность элементов. Если расположим элементы согласно их атомного веса, при чем образуются общеизвестные периоды, то мы получим следующее:

водород I:

1) гелий I, литий I, бериллий I, бор I—II, углерод II, азот II, кислород II, фтор I;

2) неон I, натрий I, магний I, алюминий I, кремний II, фосфор II, сера II, хлор I;

3) аргон I, калий I, кальций I, скандий I, титан II, ванадий III хром III, марганец III, железо III, кобальт III, никель III, медь III, цинк I, галлий I, германий I, мышьяк II, селен II, бром I;

4) криптон I, рубидий I, стронций I, иттрий I, цирконий I, ниобий II, молибден II, рутений III, родий III, палладий III, серебро II, кадмий II, индий II, олово II, сурьма II, теллурий II, иод II;

5) ксенон I, цезий I, барий I, лантал I, церий II, редкие земли I до II, тантал II, вольфрам II, осмий III, иридий III, платина III, золото II, ртуть I, таллий II, свинец II, висмут II;

6) эманация I, радий I, торий II, уран III.

Если мысленно подвесить эти ряды, по *Содди,* в виде гирлянд на благородных газах нулевой группы, как на гвоздях, то мы получим весьма правильную фигуру. Каждая гирлянда начинается бесцветным элементом. Цветность быстро увеличивается по направлению к самой глубокой точке, где она всегда равна III. В восходящей части цветность уменьшается, но гораздо более медленно, чем идет прибавление цветности в нисходящей части, так что в целом там больше цветности. Цветность есть, таким образом, явно выраженная периодическая функция атомного веса.

Особенно необходимо указать на то, что если какой-нибудь элемент в соединениях бывает разной валентности, то более высокие ступени ее бывают и более цветными. Так, например, двухвалентный марганец очень бледно окрашен, семивалентные же соли марганцевой кислоты окрашены очень сильно. Также и низшие окиси азота бесцветны, высшие же цветные.

Желтые, оранжевые и красные красители. Среди довольно большого числа неорганических красок здесь не имеется ни одной, которая бы соответствовала всем требованиям. Они или недостаточно прочны, или недостаточны по своей цветности. Это противоречие свойственно не только данному классу красок, но существует почти повсюду.

Краску, которая бы обладала всеми желаемыми качествами, мы имеем в *желтом хроме* (средняя хромосвинцовая соль), которая все-таки недостаточно светопрочна и, как соединение свинца, чернеет от присутствия сероводорода. Ее цветовой тон, в зависимости от величины зерен, лежит между 05 и 15; грубокристаллическая (крупно-зернистая) основная хромовосвинцовая соль *(хромовая красная* краска) достигает даже цвета 24. Содержание белого, в сухом состоянии, у самого светлого 06, меньше, чем у всех других красок второго желтого, и падает у более темных и до 04, так что получаем, приблизительно, значения между па до ра; хромовая красная краска равняется даже vc. Она имеет, как соединение свинца, большой коэффициент преломления и, следовательно, обладает хорошей кроющей способностью. Цвет ее очень чист.

Кадмиевая желтая (сернистый кадмий) также образует целый ряд желтых цветов до оранжевого, от 03 до 12. Светлые сорта мало светопрочны, темные же прочнее. Светлая краска кадмия в сухом состоянии имеет обозначение 03la, а темная 12na. Это очень сильно действующая краска чистейшего цвета и в своих более темных оттенках, около 08, она является наилучшей неорганической желтой, которую мы сейчас имеем.

Баритовая желтая или желтый ультрамарин (хромовобариевая соль) вполне прочна, но в сухом виде очень светла и соответствует 00ea,

в масле становится темнее только на одну ступень, равняясь ga. Немного глубже, 00ga, бывает стронциевая желтая в сухом виде или, по его новому названию, желтый ультрамарин (хромово-стронциевая соль). Эти оба красящих вещества имеют то значение, что являются представителями нулевой точки цветового круга, который, при их помощи, можно легко и определенно фиксировать, так как изменений цветового тона в зависимости от величины частиц здесь не бывает, и всякий чистый препарат дает правильный цветовой тон.

Немного дальше стоит *цинковая желтая*, двойная соль хромово-цинковая и хромовокалиевая со знаком (в сухом виде) 01 ia. Краска не чувствительна к свету, но не прочна по отношению к воде.

Неаполитанская желтая (основная сурьмосвинцовая соль) очень бледная желтая 06 ga с общими свойствами свинцовых красок, поэтому в отношении прочности ненадежна. Она постепенно выходит из употребления.

Охра есть натуральный продукт различного состава, красящая часть которого, гидрат окиси железа, имеет цветовой тон от 09 до 12. В зависимости от сорта и количества примесей, содержание белого бывает большим или меньшим приблизительно равняясь 12 или 16. Краска не чистая, а заметно содержит черный цвет, соответствуя приблизительно обозначению ic. Краска светопрочна и находит большое применение, благодаря ее дешевизне, но, имея небольшой показатель преломления, кроет поэтому только как водяная краска. В масле же она наполовину лессирует.

Терра де Сиена есть несколько более темный сорт ее, приблизительно, 12 lc—13 ne. Сюда еще относятся и те охры, которые носят название *умбра;* своим темно-коричневым цветом они обязаны содержанию марганца. Цвет их содержит много черного (09 до 12 pl); имеются еще и красноватые сорта с большим содержанием окиси железа до 18 pl.

Красная охра, мумия, венецианская красная, индийская красная, английская красная, Caput mortuum и др.; все они являются красками окиси железа с цветовыми тонами от 12 до 21, с обозначением ic до ng. Окись железа обладает сильной поглощательной способностью, так что в очень тонком размельчении дает достаточно чистый цвет (ic). Те сорта охры, частицы которых крупнее, сохраняют цветовой тон 21, и становятся все темнее и чернее с увеличением размера частиц. Эта краска вполне прочна по отношению к свету и воздуху.

Свинцовый сурик есть более высокая окись свинца очень чистого цвета 20 na; цветовой тон может немного меняться в ту или другую сторону в зависимости от величины частиц. Как соединение свинца она обладает очень хорошей кроющей способностью, не недолго сохраняется неизменной.

Киноварь (сернистая ртуть) обладает очень чистым и глубоким цветом, с цветовым тоном от 22 до 24 в зависимости от величины частиц и обозначением (в сухом виде) от la до na. Кроющая способность хорошая. Многие сорта киновари чернеют на воздухе, но имеются и сейчас светопрочные сорта.

Красные минеральные краски области от 25 до 35 неизвестны и в данном случае приходится прибегать к органическим соединениям, как например, к крапплаку с цветовым тоном от 26 до 27. Это вещество, как обладающее особой красотой цветности, имеет чистоту te до tc, т.-е. очень бедно содержанием белого.

На границе с фиолетовым находится красный ультрамарин, с обозначением 36 ie или выше, так как цветность в зависимости от приготовления может здесь меняться. Это красящее вещество, следовательно,

довольно бледное, несколько тусклое, обладающее малой кроющей способностью, грубо зернистое, но достаточно светопрочное.

Наилучшая величина зерен краски. Как то было изложено относительно белых красок, также и применительно к хроматическим цветам следует иметь в виду, что падающие световые лучи только в меньшей своей части отражаются от наружной поверхности частичек краски, большая же часть их вступает внутрь зерна и только после короткого или длинного пути в одной или нескольких таких частичках, после внутреннего отражения, опять выходит наружу. В то время, как при отражении света от белых поверхностей все лучи света опять складываются и дают белый свет, при отражении от цветной поверхности белой остается только маленькая часть лучей, все же лучи прошедшие внутрь, благодаря избирательному поглощению в зернышках краски, становятся цветными. Обе доли света (белая и цветная), поэтому, оказываются смешанными в отраженном от поверхности свете.

Если разберемся в том, что от длины пути лучей света в самых зернышках зависит насколько велико поглощение, и что эта длина пути, при прочих равных условиях пропорциональна величине зернышек, то и становится понятным, что величина этих последних должна иметь громадное влияние на цветность. Если представим себе очень остроугольную призму, сделанную из прозрачного материала красящего вещества, то у вершины она будет выглядеть почти бесцветной, а затем давать все более глубокие цвета, у которых содержание черного цвета все больше и больше увеличивается, до тех пор, пока слой не станет совсем непрозрачным, то есть черным. Представление об этом можно получить сделав полую призму из двух покровных стеклышек и наполнив ее крепким раствором какой нибудь сильно действующей каменно-угольной краски.

Вспомним, что особенностью полного цвета является то, что им поглощаются лучи как раз половины цветового круга, а лучи дополнительные этому полукругу он пропускает. Свойства действительно имеющихся полос поглощения у красящих веществ никогда не дают чистых цветовых полукругов; чем больше они приближаются к такому идеальному случаю, тем более чистым выглядит данное красящее вещество. Во всяком случае существует определенная толщина слоя, где краска больше всего приближается к идеалу. Если мы дадим зернам порошка краски соответственную величину, то цвет ее будет красивее, чем при всякой другой их величине. Эту-то величину зерен мы и называем *наилучшей.*

Наилучшая величина зерен не есть абсолютная и единая величина, но даже у одной и той же краски она зависит от способа ее применения. Толщина слоя, в данном случае, число зернышек, которое свет должен пройти раньше чем опять выйдет наружу, зависит от отношения коэффициентов преломления краски к коэффициенту преломления окружающей среды. Если этой средой является воздух, как это бывает у сухих порошков или у водяных красок, то это путь наикратчайший. Если же средой является масло, то, благодаря слабому отражению, путь оказывается гораздо больше длинным. Необходимым следствием этого будет то, что цвет во втором случае будет более глубоким и тем в большей мере, чем ближе числа преломления приближаются друг к другу. Если они почти одинаковы или совсем одинаковы, то получится лессировочная краска, которая без подкладки кажется почти или совсем черной, так как она сама по себе не в состоянии отражать свет. Поэтому, сильнопреломляющие краски, как киноварь, хромовая желтая, кадмий, в масле почти совсем не темнеют в то время как слабо преломляющие краски, ультрамарин, охра, сиена, крапплак, кажутся темными и даже черными.

То что сырые еще покраски водяными красками выглядят несколько темнее, чем сухие порошки этих же красок, происходит оттого, что после высыхания клея, хотя большая часть зерен и окружена воздухом, все же благодаря сухому клею в некоторых местах воспроизводится то же состояние, которое мы наблюдаем у крупинок и зерен, погруженных в масло. В такой же мере меньше и потемнение, чем у масла, независимо от различия в показателях преломления. Этим и об'ясняется, почему нет таких закрепляющих средств для сухих красок, которые не вызывали бы потемнения. Потемнение будет наименьшим при таком связывающем веществе, которое при наименьшем об'еме сухого остатка вызывает достаточное закрепление и этот остаток обладает возможно меньшим показателем преломления. Связующее вещество, остатки коего не прозрачны, но мутны также будет укорачивать путь проходящему свету и тем препятствовать потемнению. Если мы оставим в стороне все эти возможности и зададимся лишь вопросом о наилучшей величине зерен у сухих порошков, где между отдельными крупинками находится воздух, то увидим, что она в чрезвычайной мере зависит от поглощения, оказываясь тем меньшей, чем больше это поглощение. Параллельно с этим стоит и влиятельность краски так, что она может служить хорошим мерилом для поглощения в сухих порошках красок. *Чем краска влиятельнее, тем наилучшая величина ее зерен будет меньше.*

В относительной правильности этого положения легко убедиться. Наименее распространенные медные краски, как швейнфуртская зелень, медная лазурь и египетская зелень, требуют довольно крупной зернистости, если они должны дать глубокий тон. При измельчении же они быстро ухудшаются в том смысле, что становятся все более бледными и перестают «гореть». Наоборот, сильно действующие краски, марганцевая, коричневая, ультрамарин, киноварь и мн. др., почти никогда не бывают измельчены достаточно тонко. Ультрамарин и киноварь занимают здесь как раз промежуточное положение, так как они все таки немного светлеют от сильного измельчения и при этом ничего не выигрывают в смысле чистоты цвета. Окиси железа и марганца, наоборот, так сильно поглощают лучи, что при измельчении они становятся по цвету более яркими и красивыми.

Эти наблюдения приводят нас к выводу, что для умеренно поглощающих веществ существует предел, ниже которого данные вещества перестают существовать как краски, и этот предел есть величина зерен краски около 0,1 миллиметра. Шмальта, которая в настоящее время почти не находит себе больше применения, лежит как раз на этом пределе. Она есть стекло, окрашенное кобальтом в темносиний цвет, в целом выглядящее почти черным, при размельчении же быстро бледнеющее, причем наилучшим размером его частиц оказывается 0,5—1 миллиметра, в зависимости от содержания в нем кобальта.

Одинаковость зерен. Прекрасная зеленая краска швейнфуртская зелень встречается в продаже в сортах различной чистоты и, соответственно этому, различной цены, несмотря на то, что химический состав этой краски остается во всех этих сортах тем же самым. Лучшие сорта готовятся только некоторыми фабриками по старинным, тщательно скрываемым рецептам. При измерении лучших сортов получаем следующие величины 85,03, 50 у более простых 86,20, 40. В то время как разница между цветовыми тонами 85 и 86 ничтожна, и находится в пределах допустимой ошибки, в отношении же содержания белого цвета имеется громадная разница, а именно от 03 до 20, т.-е. от p до g, что соответствует глубокому и белесоватому цветам.

Микроскопическое исследование показало, что более простой сорт не испорчен, как вначале можно было бы предполагать; его частицы состоят из зеленых кристаллов также, как и у высокого сорта краски. Разница только в том, что лучшая краска состояла только из шарообразных групп кристаллов одинаковой величины, в то время как худшая состояла из разнородной смеси шариков, единичных кристаллов и остатков таковых. Эта разница и есть причина большого различия между красками по их цветности.

Если возьмем краску хорошего сорта, и очень мелко измельчим ее, то получим почти белый порошок. Если мы этот порошок смешаем с неразмельченной нами зеленой краской, то получим беловатую смесь, которая будет тем светлее, чем мельче частицы у измельченной части и чем больше ее в сравнении со всем количеством смеси. Для того, чтобы наилучшая величина зерен смогла проявить свои ценнейшие свойства, *одинаковость зерен* является необходимейшим условием. На фабриках изготовляющих ультрамарин уже давно пришли к тому, что получающиеся при промывании слои с разной величиной частиц тщательно отделяются друг от друга. И те секретные рецепты приготовления наилучших по цветности сортов швейнфуртской зелени требуют ничего другого, как лишь получения частиц одинаковой величины.

Поэтому, эти красящие вещества и не следует очень мелко растирать, что в других красках бывает выгодно. Швейнфуртской зеленью получают наиболее яркие цвета, если наносят ее в виде сухого порошка на клеющий грунт. Этот, вызываемый самой природой краски, способ прикрепления ее является главной причиной вызываемых ею отравлений, почему швейнфуртской зеленью в обиходе и избегают пользоваться.

Фиолетовые, синие и зеленые красители. Марганцевый фиолетовый (фосфорно-кислый марганец) имеет обозначение 42 lc. Цвет его среднефиолетовый, значительной, хотя и неполной, чистоты. Лучшая величина его частиц довольно большая, так что его нельзя измельчить не теряя при этом глубины тона. Он стоек по отношению к влияниям света.

Кобальтовая фиолетовая краска (мышьяковистый кобальт) равна по своему цветовому тону фиолетовому марганцу, но гораздо более глубока, 42 pc, и еще немного чище в своем цвете. Она не должна быть слишком измельчена и так она более влиятельна, чем фиолетовый марганец. По отношению к свету прочна.

Фиолетовый ультрамарин. Если процесс превращения ультрамарина синего в красный, происходящий при нагревании его в токе хлористоводородного газа или хлора не доведен до конца, то получается много промежуточных ступеней, которые под микроскопом оказываются смесями этих двух форм. Соответственно этому также и цветовой тон находится между 36 и 50; сортами для продажи служат краски слабо превращенные, с более синим цветовым тоном от 44 до 48. Чем красней цветовой тон, тем бледнее становится краска, у синего ультрамарина, являющегося очень глубоким содержанием черного также не мало, оно доходит до е. Краска вполне светопрочна.

Ультрамарин синий. Это очень ценное красящее вещество есть силикат натрия, содержащий серу в виде сульфида. При нагревании составных частей получается сперва зеленое соединение с менее глубоким цветом, которое затем при более умеренном нагревании медленно переходит в глубоко-синий цвет готовой краски. Этот процесс напоминает покраснение золотых стекол, которые при начале плавления также почти бесцветны. Посинение ультрамарина основано, вероятно, на (аналогичном имеющему место в вышеприведенном примере выделению коллоидального золота) выделении коллоидальной серы, которая в коллоидаль-

ном состоянии и вообще может давать синий цвет. Цветовой тон чистого синего ультрамарина находится между 48 и 54, большие числа соответствуют веществу краски более мелко измельченному. Глубина тона и чистота необыкновенно велики, до ta у крупнозернистых сортов цветового тона 48 и 49. Влиятельность красителя велика, коэффициент же преломления и тем самым его кроющая способность малы. По отношению к влиянию света он очень стоек, зато обесцвечивается уже слабыми растворами кислот, и поэтому разлагается под влиянием сернистой кислоты, имеющейся в воздухе современных городов.

Выдающиеся свойства ультрамарина, как краски, настойчиво требуют, чтоб и другие элементы применялись бы в качестве красящих веществ в коллоидном состоянии. До сих пор не была понятна причина цветности ультрамарина, и поэтому нельзя было поставить систематических исследований для нахождения подобных ему веществ; сейчас этого препятствия больше не существует.

Синий кобальт (аллюминат кобальта) похож на ультрамарин в смысле цветового тона, чистоты и прочности по отношению к свету, и имеет еще то преимущество, что не обесцвечивается от действия слабых кислот. Но он гораздо более дорог и его применение, поэтому, ограничено лишь художественной живописью.

Цветовой тон его немного более зелен, чем цвет ультрамарина, он соответствует 54 и дальше; он хорошо соответствует, поэтому, цвету ясного неба. Если еще прибавим к нему во время его изготовления окись цинка и двуокись олова, то цветовой тон его можно передвинуть и еще дальше.

Кобальтовая зелень (минеральная зеленая краска, состоящая из соединения закиси кобальта с окисью цинка) имеет обозначение 85 lg, в то время как синяя обладает оттенком от 54 la до na. Поэтому с переходом к зеленому связана бывает большая потеря в чистоте, которая сказывается уже у зеленоватого синего ультрамарина 59 lc. Также и влиятельность зеленых форм гораздо меньше, почему мы и должны употреблять данный краситель более крупнозернистым.

Берлинская лазурь есть коллоидное красящее вещество с большой влиятельностью и малым показателем преломления. В чистом виде оно выглядит почти черным. От давления и трения на поверхности показывается металлически блестящая краснота. При смешивании с белыми порошками она дает глубокий синий цвет, который начинается у цветового тона 54 и благодаря разбавлению приближается к 63; чистота не очень велика. 10% смесь с литопоном дает цвет с обозначением 57 lc—le. Светопрочность не безусловно полная, однако, практически вполне достаточная. По отношению к кислотам она прочна, от щелочей же обесцвечивается. Но все таки ее чувствительность и в этом отношении не очень уж велика, так как мел на нее не влияет. Показатель преломления не большой, поэтому, а также благодаря коллоидному состоянию, краску можно очень тонко измельчать и она носит лессировочный характер. Сухая берлинская лазурь под водой превращается при помощи капли щавелевой кислоты в жидкое коллоидное состояние и при этом очень тонко измельчается. Поступающие в продажу под разными торговыми марками и названиями краски, как-то стальная синяя, парижская синяя и мн. др., разнятся лишь внешне; в состоянии же наибольшего измельчения они все имеют тот же цвет.

Зеленый ультрамарин есть предварительная ступень ультрамарина синего; лучше окрашенные части отделяются и продаются в качестве зеленой краски. Цветовой тон соответствует от 64 до 80 и имеет обозначение от ng до ie; сорта становятся тем бледнее, чем дальше цветовой тон

подвигается к лиственной зелени. Чистота нормальная, влиятельность не велика, так что необходимо выбирать довольно крупное зерно. Стойкость по отношению к влиянию света безукоризненна, показатель же преломления мал, как и у других ультрамаринов. Кроме своей светопрочности данная краска не обладает, следовательно никакими преимуществами.

Окись хрома. В качестве красящих веществ здесь употребляются как гидрат (хромовая окись обожженная), так и окись (хромовая окись кроющая). Первая краска имеет обозначение 89 rc и бывает, следовательно, почти совершенно чистой и очень глубокой по цвету. Влиятельность не велика, так что краска должна быть довольно крупнозерниста; не все зерна поддаются в ней размельчению. Показатель преломления имеет среднюю величину. По отношению к свету и химическим воздействиям краска вполне прочна.

«Кроющая» (deckende) окись хрома более лиственно зелена и менее чиста; ее обозначение 90 ng; она, следовательно, не достигает глубины цвета гидрата. Она гораздо мелкозернистей, имеет заметно большие коэффициенты преломления и кроющей способности и также во всех отношениях «стойка».

Швейнфуртская зелень. Зеленая минеральная краска, состоящая из смеси мышьяковисто-медной и уксусно-медной соли, имеет обозначение 85 pa в ее лучших марках; единственная минеральная краска с малым содержанием черного, соответствующим норме a. Влиятельность красителя все же мала, так что ее приходится применять в сравнительно грубом кристаллическом порошке. Благодаря своей большой ядовитости она не имеет широкого применения; также и для художественной живописи она неудобна, так как в соединении с сернистыми металлами (например, кадмием) образует сернистую медь и окрашивается в коричневый цвет. Кроме необычайной чистоты цвета все прочие свойства швейнфуртской зелени отрицательны.

Цинковая зелень, хромовая зеленая, зеленая киноварь суть смеси цинковой желтой или хромовой желтой с берлинской лазурью. Так как только из желтой 00 с зеленой, по тону имеющей меньший номер чем 63, можно получить чистые зеленые цвета, то цвета этих смесей получаются всегда тусклыми (в лучшем случае c). Цинковая желтая 01 или 02 дает более чистые цвета, хромовая желтая 05 и дальше дает более тусклые цвета, но более глубокие. Свойства светопрочности определяются свойствами составных частей; при этом преимущество остается за цинковой зеленой. Цветовой тон, конечно, может при этом иметь все значения, начиная от 60 и кончая 99; имеющиеся в продаже краски по цветовому тону находятся большей частью около 90.

Зеленая земля есть железисто-калиевый силикат *(двойная соль)* белесоватого цвета 92 ig и выше. Он может быть смешиваем с каменноугольными красками и дает в таком случае *известковый зеленый* с обозначением 62 li, т.-е. тусклый ледяной-синий, довольно прочный по отношению к свету; он употребляется для крашения ковров и окраски комнат.

Если мы бросим общий взгляд на все перечисленные минеральные краски, то можно видеть, сколь большие еще области цветового тела для них не доступны. Поэтому, уже с давних времен пользовались разными органическими соединениями для заполнения этих пробелов, хотя многие из них совершенно неудовлетворительны по своей светопрочности, как, например, кармин и гуммигут. Промышленность органических красок, добываемых из продуктов коксования угля, вырабатывает желтые, оранжевые, и красные краски большой чистоты и постоянства и тем дает нам очень ценное добавление. В области же холодных цветов также и в этих красках чистота цвета и прочность по отношению к влияниям света не идут рядом.

Каменноугольные краски. Благодаря открытиям *А. В. Гофмана* и его учеников, в области получения искусственных красящих веществ из углеводородов, находящихся в угольной смоле, образующейся при коксовании угля,—начиная с последней трети девятнадцатого века развилась богатейшая промышленность. Центром этой промышленности до сих пор была Германия, и, как видно, еще долго им и останется, несмотря на старания других стран отвоевать первенство. Эта промышленность совершенно изменившая прежде всего дело *крашения тканей* захватывает постепенно и другие отрасли, где применяются краски, совершенно вытесняя старые красящие вещества. Это об'ясняется тем, что благодаря большому разнообразию относящихся сюда красителей имеется возможность для каждого отдельного случая изготовить особую краску. Хотя и сейчас еще остается много пробелов, пока что не заполненных, но от такой молодой промышленности другого нельзя было и ожидать. Общее увеличение наших познаний касающихся зависимости между химическим составом, структурой вещества и другими его свойствами, оправдывает надежды современем получить возможность всегда достигать требуемых качеств краски, хотя бы и после кропотливой предварительной работы.

Значение производства каменноугольных красок для учения о цвете состоит в том, что те области цветов, которым необходимы особенно чистые краски, благодаря успехам этой отрасли промышленности, всегда их ныне могут иметь. Если бы я был в том же положении, в каком в свое время находился *Гете*, с тогдашним ограниченным полем наблюдений, то те трудности, которые приходится преодолевать, увеличились бы во много раз.

Ту благодарность, которой учение о цвете было обязано промышленности вырабатывающей каменноугольные краски, оно уже начало богато отплачивать. Не говоря о том, что учение о цвете, в конце концов, дало возможность измерить основное качество этих продуктов—их цвет, оно указало человечеству путь, идя по которому можно внести в цветные изделия, при помощи рациональных гармоний красоту, благодаря чему открылись бесчисленные новые пути для применения красок. Нельзя, поэтому, терять надежды на то, что та нерешительность, с которой еще многие специалисты этой области промышленности встречают новую науку о цветах, в скором времени будет изжита. Нет же ни одного, кто познакомившись с этой наукой, тотчас не стал бы и ее приверженцем.

Главные группы. Каменноугольные краски суть азотистые производные ахроматического ряда, т.-е. углеводороды с малым содержанием водорода, которые при этом содержат еще и другие элементы, в особенности галоиды, кислород и серу. Их состав и строение были предметами бесчисленных исследований. Все-таки нельзя еще сказать, что в результате этих работ получились результаты твердо установленные. Кроме бесконечных частностей и лишь небольшого числа общих правил мы ничего не находим; в особенности чувствуется отсутствие твердых основных понятий, которые определяли и об'единяли бы собою все эти частности. Мы здесь, поэтому, этих вопросов касаться не будем. Мы рассмотрим только некоторые элементарные факты, важные для практики.

Каменноугольные краски суть *электролиты*, т.-е. кислоты, основания или соли. Большинство из них встречается в продаже в виде нейтральных солей, у которых или основная или кислая часть является носителями красящих свойств; вторая же часть более дешевая, обладающая свойствами растворимости, состоит из простых кислот или оснований, например, в одном случае из соляной или уксусной кислоты, а в другом случае из иона натрия или из аммиака. Первые называются *основ-*

ными, а вторые *кислыми* красками даже и тогда, когда они, как обычно, имеются в форме нейтральных солей. При обработке серной кислотой можно основные краски превратить в сульфокислоты и тем самым уже в кислые краски. Кислые красители образуют самый обширный класс.

Основные красители образуют в соединении с высокомолекулярными кислотами, как танин, смоляные кислоты, комплексные—вольфрамовая и молибденовая—кислоты и т. п. нерастворимые аморфные соединения, которые служат для того, чтобы связать краску с тканью при крашении или же накраску с каким-нибудь белым носителем таким образом, чтобы она впоследствии уже больше не растворялась и не смывалась водою. Такие кислоты или соли называются протравами.

Чтобы таким образом связывать растворимые, кислые краски пользуются алюминиевыми квасцами, а также двуокисью олова. Ткани, содержащие азот (как-то шерсть и шелк), обладают этим же свойством. Соли бирач часто бывают перерастворимы.

Особую группу красителей представляют собой, так называемые, «субстантивные», которые и без протравы прикрепляются на волокно, также и на растительное. Здесь мы имеем дело с коллоидным состоянием красок в их растворах. Они осаждаются в нерастворенном состоянии на ткани, благодаря влияниям поверхности волокна и помощи особых прибавок при увеличении зерен, и остаются нерастворимыми.

Другие краски сами по себе нерастворимы, но их можно перевести при помощи особых восстанавливающих средств в растворимые щелочные соединения водорода. Если мы пропитаем волокно таким раствором и оставим его затем на воздухе, то, благодаря окислению, вновь образуется нерастворимая краска, крепко связанная с волокном. Эти красители называются «кубовыми».

Существует большое число очень ценных красок, для которых еще не найдены растворители. Они применяются или для накрашивания, к чему они особенно пригодны в виду их большой прочности по отношению к воздействиям света, или же они получаются из своих компонентов прямо на волокне, при чем они соединяются с этим последним. Эти краски носят звучащее плеоназмом название «пигментных красителей».

Кроме этого, еще имеется целый ряд особых случаев, значение которых не так велико, чтобы о них здесь говорить.

Основные красители. Древнейшие и наиболее известные анилиновые краски, в узком смысле слова, относятся к основным. Это пурпурно-красный розанилин (фуксин, рубин), с цветовым тоном 35, который в продаже большей частью имеется в виде ацетата; растворяется в холодной воде с большим трудом и хорошо осаждается при помощи танина (того же веса) и рвотного камня (половинного веса). Его спектр поглощения показывает большое число полос, поэтому и его цвет не такой уж чистый.

При введении метиловых групп можно передвинуть вперед цветовой тон в цветовом круге вплоть до третьего фиолетового, при этом его растворимость в воде увеличивается. Эти красящие вещества называются метиловым фиолетовым. Фиолетовые чернила, краски для печатей, печатные краски и т. д. изготовляются из этого красителя. Разные цветовые тона обозначаются буквами R, RR и т. д. для красных оттенков, а B, BB и т. д. для синих оттенков. Обозначение номерами нормированных цветовых тонов было бы яснее и удобнее.

Введение фенила или нафтила дает ультрамариновую синюю—*Викторию синюю*—чистейшего цвета и малой растворимости.

Все эти краски очень непрочны по отношению к свету. Это объясняется в известной мере их необычайной влиятельностью, благодаря

коей эти краски уже в очень малых дозах дают глубокие тона, каковые, поэтому, конечно, и выгорают от света гораздо быстрее, чем большие количества менее влиятельных красок.

Как на наиболее употребляемые основные красители, можно указать на следующие:

Аурамин, желтый от 01 до 04, в зависимости от его силы. Не переносит температуры кипения при растворении. Не прочен по отношению к свету. Флуоресцирует.

Хризоидин, первый и второй оранжевый. Цвет содержит подмесь черного.

Сафранин, первый и второй красный. Краске недостает чистоты, но зато она более светопрочна, чем другие основные краски.

Родамин, от третьего красного до первого фиолетового. Цвет очень чистый. Сильно флуоресцирует. Светопрочен лишь в слабой степени.

Зеленъ малахитовая, морская зелень. Цвет содержит черный. Слабая светопрочность.

Зеленъ метиленовая, этиловая зеленъ, морская зелень. Цвет более чистый. Малая светопрочность.

Основные краски соединяются непосредственно с шерстью и также и инкрустирующими веществами дерева и других растительных образований. Благодаря их влиятельности они являются самыми дешевыми красящими веществами; их слабая светопрочность делает их, однако, мало пригодными для окрашиваний на более или менее продолжительное время. Основные краски нашли широкое применение в качестве типографской краски для газет, об'явлений, и других печатных изделий короткой продолжительности; эти краски приготовляются без лака из льняного масла и легко с бумаги стираются. Их слабая светопрочность не является большим недостатком, так как краской для лент пишущих машин, и тем самым для всей торговой корреспонденции, служит метиленовая фиолетовая, т.-е., одно из наименее светопрочных веществ этой группы и все же до сих пор не слышно было никаких жалоб на его непрактичность.

Кислые каменноугольные краски. Как было уже указано, они образуют громадное большинство каменноугольных красок и обязаны во многих случаях своими кислотными свойствами присутствию сульфогруппы. Об их сложном строении здесь не место распространяться. Имея в виду чистоту цвета или другие ценные свойства, мы укажем на следующие, хорошо растворимые в воде красители рассматриваемой группы:

Пикриновая кислота есть самая простая изо всех каменноугольных красок, и отличается своим желтым цветом 00, который она сохраняет также и будучи взята в большом количестве. Слабо растворима в воде, также как и ее соли, из которых более всего растворима соль кальция. Связывается с волокнами животного происхождения без всякой протравы. Окраски делаются все больше и больше коричневатыми на воздухе. В смеси с ледяным синим или морским зеленым дает очень чистые зеленые цвета.

Желтый Сатурн (Saturngelb) родственный более известному тартрацину; после пикриновой кислоты по своему цвету больше всего приближается к границе желтого 00. Достаточно светопрочна.

Хинолиновая желтая также по цвету приближается к границе 00, и из всех наиболее известных желтых красящих веществ наиболее зеленовата. Достаточно светопрочна.

Тартрацин, чистый желтый, около 04, обладает большой влиятельностью, служит для получения всех прочих желтых и оранжевого. Светопрочен.

Эозин, Эритрозин, Флоксин, Бенгальская Роза, принадлежат одной группе карболовых кислот и различаются между собой по содержанию в них галоидов. Они все обладают необыкновенно чистым цветом, но в высокой степени чувствительны к влияниям света; флуоресцируют так сильно, что даже затрудняют измерение. Необходимо поэтому употреблять их там, где чистота цвета не так уже важна. Цветовой тон колеблется от 25 у Эозина до 35 у Бенгальской Розы.

Оранжевый II, Диметиланилин оранжевый (Tropäolin) дают чистые оранжевые цвета, но чувствительны к кислотам, так что в слабом крашении легко дают пятна. Цветовой тон соответствует нормам от 13 до 21.

Пунцовый, образует большую группу близких друг к другу красителей, удовлетворительной светопрочности, в области цветовых тонов от 25 до 33. Они и применяются, поэтому, большей частью для получения красных цветов, но уступают немного эозиновым красителям в смысле чистоты цвета.

Кислый фуксин, кислый фиолетовый есть сульфированные производные соответственных основных красок; в смысле светопрочности они стоят несколько выше этих последних. По цвету они также немного чище их. Цветовые тона их лежат между 35 и 46.

Синяя для шерсти, дает цветовые тона около 50, цвет чистый, но неудовлетворительна в смысле светопрочности.

Водяная синяя (Wasserblau) имеется в продаже под разными марками; цветовой тон лежит между 50 и 58; много светопрочнее, чем «синяя для шерсти», и приблизительно так же чиста по цвету, в силу чего и имеет преимущество перед этой последней.

Синяя патентованная, Нептунова синяя, индигокармин синий являются представителями ледяного синего цвета, тоном от 63 до 71. Цвет их очень чист; к сожалению, они мало светопрочны. Они дают с первыми желтыми—пикриновой кислотой, хинолиновой желтой, сатурновой желтой все зеленые цвета наилучшей чистоты и без подмеси зеленых красителей, которых, впрочем, и нет хорошего качества, так как *кислая зеленая* весьма непрочна в отношении света, а также и воздействий всякого рода щелочей. Настоятельной потребностью является поэтому получение светопрочного и чистого по цвету кислого ледяного-синего, чего пока еще нет.

Нигрозин, почти черная краска, хорошей светопрочности, встречается под разными названиями. Он не совсем чисто-черный, но содержит немного фиолетового или синего, каковой налет и необходимо бывает уничтожать подмесью дополнительного цвета, если желаем получить нейтрально-серый цвет. Он очень продуктивен для получения тусклых цветов и ему следует в этом отношении с оптической точки зрения отдавать предпочтение перед обычным смешиванием с дополнительными цветами, так как он дает совершенно серый цвет, почти не зависящий от цвета освещения, в то время как серый, полученный из дополнительных цветов или из комбинации трех цветов, в высокой степени чувствителен к изменениям этого света.

Выше перечисленные растворимые кислые краски являются материалом для приготовления хроматических жидких тушей, чернил и акварельных красок; бумага или ткани могут быть окрашенными посредством погружения в них, или накрашивания кистью; короче говоря, с помощью этих красок мы можем скорейшим и наиудобнейшим образом лессировать поверхности любыми цветами, если не пред'являть к покраскам особенных требований в смысле светопрочности и т. п. Для работающего в области учения о цветах они представляют собою незаменимое орудие. Особенно практичны приготовляемые ныне из них наборы красок под названием «Kleinchen».

Нерастворимые каменноугольные краски. С исчезновением растворимости выступает, как правило, сильное увеличение светопрочности. Соответствующие краски, название которых образуется при помощи добавления слова «пигментная» (пигментная желтая, пигментная пунцовая и т. д.), конкурируют, поэтому, с большим успехом с минеральными красками, отчасти уступая им в смысле светопрочности, отчасти же превосходя их. Иначе они называются еще гелиос-красками, литолевые краски.

Для исследования красок они дают ценный материал, так как позволяют приготовить светопрочные и чистые по цвету *кроющие краски* в области цветов от желтого до пурпурного; чисто-светлые тона можно получить при прибавлении к ним белого цвета. В этих случаях, однако, никогда не следует применять цинковые белила, так как краски от этого становятся чрезвычайно чувствительными к воздействию света.

Во всем остальном цветовом круге недостает соответственных чистых и светопрочных красок. Даже применение кубовых красителей, которые можно получить посредством осаждения их на белом носителе для светлых цветов настолько чистыми, насколько только природа красителя это позволяет, в достаточной мере не улучшает все таки положения вещей, так как мы при этом получаем хотя и светопрочные, но зато тусклые цвета. Здесь мы принуждены прибегать для получения чистых цветов к лакам растворимых красок родамина, Бенгальской Розы и Нептуновой синей, которые все непрочны по отношению к свету. Для синего мы имеем из минеральных красок ультрамариновую синюю, которая вполне светопрочна. Также светопрочная ультрамариновая красная, хотя и имеет желательный цветовой тон 36, достигает, однако, только до i, благодаря большому содержанию в ней белого цвета; она также и несколько тускла. Берлинская лазурь удовлетворительна в отношении светопрочности, но заметно тускла. Также и здесь мы должны ожидать пока промышленность не научится приготовлять недостающих светопрочных «пигментных красок» цветов пурпура, ультрамаринового синего и ледяного синего.

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ.

Связывающие вещества красителей.

Установление основных понятий. Для наших целей было бы очень удобно взять понятие о связывающем веществе в настолько широком смысле, чтобы под ним можно было подразумевать *все* средства, при помощи которых краситель прикрепляется к своему основанию. Согласно этому не только клей и масло живописца будут связывающими веществами, но и протравы красильщиков и, в конечном счете, также и физические и химические свойства волокон, которые обусловливают непосредственное прикрепление краски к волокну. Уже и раньше, попутно, указывались некоторые из относящихся сюда явлений; здесь мы рассмотрим их в их отношениях друг к другу, благодаря чему станет более ясным и то общее, что имеется в них.

К вопросу о связывающем веществе непосредственно примыкает и вопрос о *прочности*. Под этим словом мы подразумеваем то сопротивление, которое данная краска проявляет по отношению ко всякого рода воздействиям, стремящимся ее удалить. Сопротивление просто механическим воздействиям называют не прочностью, а, в зависимости от причины, вязкостью или твердостью. Но уже более слабые механические воздействия, каким является трение окрашенных поверхностей,

например, на выступающих местах нашего платья, ведет к понятию о прочности по отношению к трению. Можно говорить также о прочности в отношении мытья, газовых воздействий, света, уличной грязи и т. п.; при такого рода обозначениях мы и указываем всегда вредящий фактор. При этом принимаются во внимание механические, оптические и химические воздействия, благодаря которым отчасти краситель, отчасти же связывающее вещество удаляется или же химически изменяется. Так как число возможных воздействий необычайно велико, и ограничение перечисления вызывается лишь практическими соображениями, то мы и можем упомянуть здесь только о самых важнейших видах прочности.

Механически связывающие вещества. Порошкообразные красители взаимно связываются таким образом, что их в чистом или разведенном виде смешивают с жидкими коллоидами, которые впоследствии затвердевают и прикрепляют порошок на долгое время к своему носителю.

Связывающими веществами могут служить все клейкие вещества, каковые ведь все суть также коллоиды; кроме них могут быть применяемы и другие вещества, которые вообще для склеивания не применяются. Коллоидное состояние является, таким образом, непременным условием, так как в большинстве случаев коллоиды представляют собой связанные массы, величина которых зависит только от внешних условий. Кристаллические же растворы и сплавы дают при затвердении большей частью такие массы, которые уже заранее образуют песок с отдельными кристаллами или так истресканы, что очень легко разламываются. Только в исключительных случаях, как, например, у гипса, образуются непрерывные кристаллические массы. Но и здесь коллоидные промежуточные состояния имеют громадное значение, как, например, у цемента, известкового раствора и т. п. Другим таким же исключительным случаем являются многие металлы, которые, несмотря на свою кристаллическую природу, могут образовывать вязкие массы любой величины, как то мы видим и на железе, олове, меди. О них здесь речь не идет.

Крайнее место занимает связующее вещество стенной живописи,— карбонат кальция. Недавно сделанную цементную стену, содержащую еще много едкой извести, перекрывают штукатурной краской, которая наряду с порошком содержит еще и гидрат кальция в форме известкового молока. Прикрепление происходит благодаря превращению гидрата кальция в карбонат кальция при помощи углекислоты воздуха. Карбонат, прежде всего, выделяется в виде коллоида. На удачных фресках, карбонат, повидимому, и остается в этом состоянии, так как они кажутся слегка глянцовитыми и гладкими, что присуще коллоидам, но не кристаллическим осадкам.

Традиционное мнение об особо «монументальном» характере подобной техники в настоящее время должно быть оставлено. Благодаря содержанию серы в каменном угле, который является сейчас почти исключительным топливом, воздух наших городов загрязнен сернистой и серной кислотой и влияет, как я уже давно говорил, разрушающим образом на связующие вещества красок. Поэтому, стенная, фресковая живопись, которая находится на открытом воздухе исчезает в настоящее время в течение нескольких десятилетий. Раньше, во времена отопления дровами, она была очень прочна, так как дрова загрязняют воздух только углекислотой, которая для фресок безвредна. Таким образом, фресковая живопись хорошо выдерживает углекислоту, но быстро разрушается от каменного угля или серной кислоты.

Масла, олифы и лаки. Среди жирных масел имеется большое число таковых, которые соединяются с кислородом воздуха и при этом переходят в твердые, коллоидные массы значительной вязкости; по-

этому они и служат ценными связующими средствами. Искусство живописи с применением таких веществ безусловно вступает в новую стадию развития. Типичным таким связующим средством является льняное масло.

Окисление льняного масла есть медленный процесс, ускоряющийся под влиянием света и некоторых катализаторов (соединение марганца, свинца и кобальта). При окислении самого масла также образуется катализатор; другой находится в осмолившемся, т.-е. окисленном скипидаре и имеет, следовательно, сходные же свойства. Олифа есть частично окисленное льняное масло, которое содержит этот катализатор, а потому она быстро и затвердевает. При свете все эти процессы протекают гораздо быстрее. Особенно сильное влияние оказывает свет коротких длин волн, который специально и применяется для этих целей в технике.

Масляная живопись. Масляные связывающие вещества (вместе с лаками) образуют, поэтому, особую группу, поскольку они вполне окружают крупинки красителя и после того как целое затвердело. Оптические явления вызываемые этим описаны уже выше в другой связи. Эти связывающие вещества весьма углубляют цвет, т.-е. уменьшают содержание в нем белого, что позволяет при их помощи воспроизвести такие области цветового тела, которые другим способам крашения недоступны. Это есть одно преимущество масляной живописи. Другое, связанное с ним, состоит в том, что краски, после нанесения их на грунт, не изменяют своего цвета, так как зерна красителя как были плотно погружены в связующее вещество, так в нем и остаются. Поэтому можно рисовать без учета изменения цветов в будущем. Техника живописи с водяными связывающими средствами побуждает художника всегда считаться с таким будущим изменением (просветлением) вида их красок. Лишь пастель свободна от этого недостатка; акварель почти свободна.

Вопрос о прочности сводится здесь к вопросу о сохранении окраски слоя, не говоря о возможных механических на него воздействиях. Здесь следует иметь в виду то, что процесс окисления, приводящий к затвердеванию масла, не прекращается после накраски, но продолжается хотя и медленно. После того, как вследствие поглощения кислорода этот процесс вначале происходил с большим увеличением об'ема, наступает вторая фаза, в коей окисление обусловливает «сгорание», связанное с образованием двуокиси углерода и воды и с соответствующим уменьшением об'ема. После этого слой начинает трескаться и первоначально тонкие щели в нем увеличиваются и по числу и по своей величине. Такой процесс наступает тем скорее, чем слой толще; имея это в виду и можно до некоторой степени предсказать долговечность той или иной картины. Учитывание всех этих условий совершенно чуждо современным художникам, готовым все — и долговечность их произведений — принести в жертву впечатлению настоящего момента.

Обычно применяемое в художественной живописи полотно со многих точек зрения вредно для долговечности картин. Механическая прочность его не велика; каждый неосторожный нажим пальцем может оставить на нем неисправимый след. Еще в меньшей мере служит оно защитой от только что описанного химического разрушения, ибо оно не препятствует кислороду проходить сзади к слою краски. Неоднократно констатировалось, что простая наклейка с обратной стороны картины куска бумаги предохраняла наружную сторону ее от растрескивания на соответствующем месте, растрескивания имевшего место на всех прочих частях картины. Металл, дерево, картон в этом отношении могут служить гораздо более подходящими грунтами для придания картине большей долговечности. Для сохранения масляных картин, рисованных на полотне,

следует оклеивать это последнее с изнанки оловянной фольгой (станиолем).

Лаки. Имеющее разные смыслы слово «лак» означает здесь раствор смолы или подобных коллоидов в летучих, неводянистых растворяющих средах, которые при испарении оставляют растворенное в них вещество в виде блестяще-прозрачного слоя. Лаки также часто служат связующим средством для красок и в этом отношении они имеют много преимуществ перед высыхающими маслами. Эти преимущества состоят в том, что их затвердевание происходит не благодаря окислению, когда оно раз начавшись уже не может быть оставлено, а в результате испарения растворителя, который оставляет после себя такой слой, который остается уже неизменным неограниченно долгое время.

Особенно надежными в этом отношении являются *ископаемые* смолы, которые уже давно пережили свою химическую молодость и в течение тысячелетий пришли в состояние полного покоя. Поэтому янтарный и копаловый лаки суть наиболее постоянные. В большинстве случаев смолы растворимы в жирных, впоследствии затвердевающих, маслах только после расплавления их, при чем они претерпевают и химические изменения. Практика, однако, показывает, что они передают свое постоянство и маслам и тем больше, чем больше содержание их в продукте. Необходимую жидкую консистенцию достигают при посредстве летучих растворителей.

Так как последние при затвердевании улетучиваются, то остаток часто не может вполне охватить собою зерна красителя. Это называют прокладкой краски. Она улучшается покрыванием ее новой олифой. Последнюю берут с иным растворяющим веществом, чтобы прокладка олифой не растворялась бы и картина не портилась.

Живопись при помощи лаков и смоляных растворов в смысле долговечности безусловно превосходит живопись при помощи льняного масла, но помимо этого она ее превосходит и в некоторых других отношениях. Поэтому этот вид живописи и начинает вытеснять живопись льняным маслом, так как он помимо особых своих качеств обладает также и всеми выгодами этой последней.

Углеводы. Как известно, все вещества, необходимые для питания человека, распадаются на три группы: на жиры, углеводы и белковые вещества. Эти же самые группы мы встречаем и у связующих веществ порошкообразных красок. О жирах только что шла речь. Белковые вещества и углеводы дают связующие средства, применяющиеся в водных растворах.

Чем вязче и тверже сухие вещества, тем более они годятся для этой цели. Поэтому, камедь (гумми) есть гораздо лучшее связующее средство, чем хрупкий и ломкий декстрин, и поэтому же клей, который принадлежит к белковым веществам, превосходит их обоих.

Все эти связующие вещества суть коллоиды. При этом различают обратимые и необратимые коллоиды. Первые переходят непосредственно в коллоидное состояние при соприкосновении с водой. Вторые же и под водой остаются в твердом состоянии, раз только они единажды затвердели. Среди связующих веществ встречаются и те и другие. Камедь и декстрин суть обратимые коллоиды. Поэтому, достаточно дать высохнуть смесям, состоящим из краски и такого связующего вещества, чтобы при последующем намачивании и некотором помешивании получить вполне готовую для живописи краску. На этом основано приготовление водяных или акварельных красок. В зависимости от показателя преломления и их влиятельности они бывают кроющими или лессировочными. Свойство прозрачности проявляют также и полукроющие краски, если они настолько измельчены, что их частицы близки к размерам частиц в кол-

лоидном состоянии. Это и есть свойство хороших красок, которые большей частью применяются в качестве лессировочных. Неравномерное распределение кроющих и прозрачных красок в цветовом круге мешает его безупречной красоте. Посветление при высыхании очень незначительно, так как очень мелкие частицы краски достаточно хорошо обволакиваются связующим веществом; этому же способствует и покрытие закраски лаком.

В отличие от вышеназванных веществ, *крахмал* является необратимым коллоидом. Его можно превратить в растворимое состояние только при помощи особых специальных приемов, как-то: варка, растворение при помощи щелочей и т. д. Зато краски, нанесенные при посредстве этого связующего вещества, после того как просохнут уже не боятся воды; можно совершенно спокойно рисовать и по ним, что при работе с камедью или декстрином требует особой ловкости, чтобы не испортить грунт. Конечно, нельзя краске готовой для рисования давать просохнуть; лучше всего приготовлять краску свежей незадолго до употребления, так как крахмальный клейстер через несколько дней начинает распадаться на составные части.

До сих пор эти обстоятельства мешали применению крахмальных красок для художественных целей, хотя они и являются очень приятным и удобным материалом, подобно масляным краскам. В последнее время нашли метод для растворения крахмала при помощи химических реактивов, т.-е. нашли средства перевести его в клейстер, который долгое время сохраняется неизменным и, все-таки, при высыхании становится нерастворимым. Такие «растительные клеи» имеются в продаже под разными названиями. Совсем недавно удалось приготовить твердые препараты, которые, хотя медленно, но растворяются в воде вместе с краской, но при высыхании становятся уже нерастворимыми. Пока мне известно только одно единственное вещество такого рода, клей для живописи МТ фирмы *Фердинанда Зихеля* в Ганновере—Лиммере. Он состоит из растворимого крахмала и смоляного масла и имеет то преимущество, что закрепляется на всех грунтах, как на масляных красках, так и на стекле. До сих пор этот клей применялся только для масляных красок, но он является также великолепным материалом и для живописи, так как имеет более простой состав и, вследствие этого, более прочен, чем клей и другие связующие вещества, содержащие азот. При помощи олиф можно изображениям давать глубину масляных картин, не опасаясь всех тех недостатков, которые присущи масляным связующим веществам. Я не колеблясь горячо рекомендую художникам ознакомиться с этим весьма ценным связующим веществом.

Связующие вещества, содержащие азот. Наиболее распространенным представителем этих веществ является клей, который приготовляется из кожи и хрящей животных посредством долгой варки, т.-е. до начинающегося гидролиза. В твердом состоянии он очень тягуч и служит, поэтому, как очень ценное вещество для склеивания дерева, картона и т. п.

В холодной воде клей набухает и только маленькое количество его растворяется; при этом образуются две фазы: вода в клее и клей в воде, которые находятся в равновесии. С увеличением температуры обе фазы сближаются друг с другом в своем составе и приблизительно около 50° они обе равны между собой и раствор становится однородным. Температура очень зависит от степени гидролиза при его изготовлении и клей тем больше ценится, чем больше эта степень гидролиза. Для наших целей это не играет такой большой роли; очень удобно продолжать гидролиз несколько дальше до тех пор пока 6% раствор уже при комнатной температуре, или несколько выше, больше уже не свертывается.

Свертывание основано на том, что обе фазы при охлаждении вновь разделяются, при чем из клеевой фазы образуется сетка, которая придает всей смеси характерную полутвердую или студенистую консистенцию.

Жидкий 6% раствор клея есть очень удобное и прочное связующее вещество для водяных красок. После сушки покрашенная таким способом поверхность вполне хорошо переносит вторичную накраску. Если хотят быть вполне уверенными в хорошем результате, то данную накрашенную поверхность перекрашивают еще слабым раствором формалина или уксусно-кислого алюминия, благодаря чему она становится непроницаемой для воды.

Клей очень легко гниет. Этого можно избежать при помощи нафтоля, карболовой кислоты и других антисептических веществ.

Белок (белки) есть другое связующее вещество того же класса, которое в течение многих столетий применялось для целей живописи, хотя он не так хорошо твердеет, как клей, а загнивает еще легче, чем этот последний. В настоящее время белки больше не применяются. В крашении они служат только для закрепления нерастворимых измельченных красящих веществ на волокно, в особенности в ситценабивном деле. Его превращают в нерастворимое состояние посредством нагревания, благодаря чему он также становится прочным и в отношении к воздействиям воды.

Еще больше чем белок применялся яичный *желток*, который отличается от первого только тем, что содержит в себе жирное масло, распределенное в нем в виде маленьких капелек. Такие смеси или *эмульсии* можно изготовить из всех возможных жирных масел и водных коллоидов. Так как это соединение жирных и водных связывающих веществ, действительно, обладает некоторыми техническими преимуществами, они находили и находят себе большое применение под названием: «Темпера». Все-таки, их можно заменять растворимыми, необратимыми связующими соединениями крахмала, в особенности твердым «Sichel Leim» М. Т.

Очень распространенным в последнее время связующим веществом этого класса является *казеин*. Он получается из молока и есть кислота, которая сама по себе нерастворима, но со щелочами дает растворимые соли; она также растворяется в буре. Как связующее вещество он имеет все свойства клея, с тем лишь преимуществом, что его водяные растворы на холоде не свертываются. Он также не осаждается спиртом. В соединении с уксуснокислым алюминием и с формалином он становится нерастворимым.

Крашение. Если даем краскам, которые растворяются в воде, высыхать на ткани или волокнах, то получаем такое крашение, которое хотя и не портится от трения, но боится воды. Нерастворимые же в воде краски дают неудовлетворительные результаты, как по их прочности к трению, так и по прочности их в отношении влияний воды. Необходимо было, поэтому, для обеих групп красителей найти связующие вещества, которые были бы различными в зависимости как от краски, так и от окрашиваемого волокна.

Проще всего дело обстоит по отношению к шерсти и шелку. Для большинства растворимых основных каменноугольных красок требуется только нагреть раствор краски с шерстью и добавить туда сернокислого натра. Основание (щелочь) красителя частично соединяется с шерстью уже непосредственно; благодаря прибавлению глауберовой соли вызывается процесс увеличения частиц в полуколлоидном растворе, согласно общему закону, а также и благодаря повышению температуры, что кроме

этого еще облегчает краске и проникновение в волокно и этим самым дает возможность ей прочнее прикрепиться к нему и не так изменяться от воды. Искусство красильщика состоит в том, чтобы своевременно регулировать проникновение краски в ткань, а затем уже осаждение краски, таким образом, чтоб коллоидные частички оставались достаточно мелкими. Это и обусловливает красоту окраски и ее прочность по отношению к мытью и трению.

Кислыми красками красят шерсть таким же самым образом, но добавляют при этом еще серную кислоту, чтобы освободить кислоту красителя. В зависимости от природы красителя приходится так регулировать условия крашений, чтоб получить наивыгоднейшую форму осадка.

Также и на хлопчатобумажной ткани можно добиться такого рода непосредственного крашения. Оно требует, однако, от красителя большего приближения к коллоидному состоянию; здесь описываемый способ крашения не так широко применим, как при крашении шерсти, так как сродство между краской и растительными волокнами здесь гораздо меньшее, чем у шерсти и краски. Получаемые окраски менее стойко переносят мытье и трение. Такие красители называются субстантивными.

В большинстве случаев, поэтому, необходимо добиться нерастворимости окраски, переводя краситель в нерастворимое соединение. Для этого служат протравы. Для основных красок это будет высокомолекулярные кислоты, для кислых же красок это—многовалентные окислы металлов. Для того же, чтоб эти осадки, по возможности, хорошо проникали в волокно, его обрабатывают раньше одной только протравой и эту протраву закрепляют при помощи добавления какого-нибудь химического соединения, которое переводит протраву в нерастворимое, но вместе с тем доступное для красителя соединение. Это имеет место, например, с танином, благодаря солям сурьмы. Незакрепленную часть осадка удаляют промывкой и затем постепенно красят в растворе краски.

Протравой могут служить вещества как либо закрепляющиеся на волокнах, как, например, субстантивные красители. Основные краски образуют со многими кислыми красками (особенно высокомолекулярными) нерастворимые соединения, цвет которых дает разностную (субтрактивную) смесь обеих красок.

Сходным с протравным способом крашения является тот, при котором красящему веществу дают образоваться внутри самого волокна. И здесь также одной составной части дают, по возможности, хорошо проникнуть в само волокно, затем удаляют часть краски, сидящую на поверхности, и обрабатывают второй составной частью.

Широкое применение нашел себе, наконец, кубовый способ крашения, по которому краску, которая сама по себе нерастворима, переводят при помощи восстановления в растворимое состояние, этим раствором пропитывают волокно и затем уже при помощи окисления получают окраску.

Как видно, всюду мы имеем дело по возможности с процессом образования красителя внутри волокна, так как проникновение краски внутрь волокна извне, как то, напр., имеет место у шерсти и шелка, не всегда имеет место.

Самый простой способ крашения это тот, при котором нерастворимые порошки красок прикрепляются на волокне при помощи связующего вещества, которое затем становится нерастворимым. Из всего громадного числа возможностей, которые здесь имеются и которые далеко еще не все использованы, в практике крашения материй пока-что встречаем, как связующее вещество, только белок, который при нагревании переходит в нерастворимое состояние.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ.

ПСИХОФИЗИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ.

ГЛАВА ШЕСТНАДЦАТАЯ.

Физиология глаза.

Зрение. Из всех наших чувств, зрение развито наибольше. Мы это заключаем из того, что наше представление о мире вообще есть по преимуществу представление о том, что мы *видели*. Слышимое, осязаемое, вкусовое, обоняемое несравненно проще и менее богато. Границы нашего мира—с одной стороны электроны и самые отдаленные звезды—с другой, мы воспринимаем исключительно нашим глазом. Представления нашей повседневной жизни состоят, если не исключительно, то во всяком случае, в своем громадном большинстве, из зрительных переживаний. В этот мир видимого мы размещаем все нами осязаемое, слышанное и т. д., так что зрительно данное является главенствующим.

Первостепенное значение зрения сказывается еще и в том, что это есть единственное многомерное (mehrfaltige) чувство. Слушать, осязать и т. д. мы можем только в одном измерении, в то время как наше поле зрения непосредственно дает многообразие двух измерений—поверхность, и позволяет воспринимать и третье измерение нашего эмпирического пространства, благодаря зрению бинокулярному. Кроме различения пространственных свойств вещей внешнего мира, которым мы обладаем и с помощью палочек (находящихся в сетчатке нашего глаза и нечувствительных к цвету), глаз обладает еще и способностью воспринимать цвета, что дает нам возможность познавать и вещественные различия предметов. Свойства предметов, которые мы встречаем во внешнем мире, в большинстве своем, воспринимаются посредством глаза; описания веществ в учебниках химии касаются почти исключительно зрительно-даваемых явлений.

Поэтому, вполне естественно, что изучение особенностей глаза, законов зрения и психологического построения нами картины мира на основе данных зрения всегда считалось важной областью науки и тщательно разрабатывалось. Та часть науки, которая изучает *формы* предметов, представляет собой область, раньше всего развившуюся, — это *геометрия*. Научная разработка этой дисциплины еще египтянами и греками, а затем *Эвклидом* считалась с тех пор образцом и прототипом для всех других наук. Недаром *Б. Спиноза* не нашел более ясного выражения для своего намерения создать строго научную этику, как указать на то, что она будет построена «геометрическим методом».

Тому биологическому факту, что ощущение цвета развилось гораздо позже, чем восприятие форм, соответствует и то, что в ходе исторического развития науки учение о цвете развилось также на тысячелетия позже науки о формах. Собственно говоря, настоящее научное понимание этой области, пользующееся числом и мерой, относится к самому последнему времени и отдалено от эпохи создания научной геометрии почти на три тысячелетия, т.-е. на большую часть всей известной нам истории человечества. Причина тому лежит, конечно, в гораздо большей сложности мира цветов и трудности его познания по сравнению с миром форм.

Также и другое ближайшее сравнение, а именно сравнение с миром *звуков*, который по своему значению ближе всего находится к миру цветов, показывает громадный промежуток времени, протекший между эпохами развития той и другой области. Числовые законы звуков также были открыты в древней Греции. История связала это великое открытие с именем *Пифагора*, чьи измерения тонов при помощи монохорда выделяются своей оригинальностью среди произведений того времени. Благодаря такому научному обоснованию, искусство звуков и развилось до уровня первого и наиболее могущественного искусства нашей культуры.

Искусства света в таком смысле не существовало вплоть до наших дней, так как по отношению к цветам отсутствовало обоснование, подобное измерениям Пифагора. Без такого же научного обоснования невозможно было и более высокое развитие соответствующего искусства. Теперь это обоснование имеется, и то тут, то там появляются уже силы, которые создадут новое настоящее искусство цветов, начало коего будущие историки отнесут к первым десятилетиям двадцатого века, когда оно тихо зародилось во времена величайшей войны, истреблявшей человечество.

Глаз. Общеизвестно, что глаз, благодаря своему оптическому устройству, дает внутри себя маленькие изображения предметов внешнего мира, где эти изображения падают на разветвление зрительного нерва, так называемую сетчатую оболочку и обусловливают ее раздражение. Это раздражение доходит при помощи зрительного нерва до мозга, где и вызывает световое или цветовое ощущение. Отчетливое отражение ограничено углублением, которое находится против чечевицы и называется *центральной ямкой*, лежащей в центре *желтого пятна*, являющегося местом самого острого зрения. Острота зрения уже на маленьком расстоянии от желтого пятна быстро уменьшается. Этот недостаток возмещается очень большой подвижностью глаза, которая дает возможность «фиксирования» каждой точки, которую мы желаем рассматривать, т.-е. помогает перевести его отражение на это желтое пятно [1]).

Палочки и колбочки. В историческом введении нашей книги уже было указано на тот основной факт, что человеческий глаз содержит два совершенно различных нервных органа, один из коих, более старый, воспринимает лишь ощущение светлого и темного, а другой, более молодой, воспринимает хроматические цвета. По их форме эти концевые органы воспринимающие свет и цвет и различаются как палочки и колбочки.

---

[1]) Подробнее см. у *H. Podestà*. Physiologische Farbenlehre. 1922. Verlag Unesma.

Хотя для полного проведения этого понимания встречаются еще некоторые трудности, но оно все-таки об'яснило многое и имеет полное право на наше признание.

Так как в историческом развитии колбочки, как видно, произошли от прежних палочек то надо полагать, что в них еще имеются остатки свойств палочек; этим устраняются те противоречия, которые могли получиться, благодаря молчаливому предположению об абсолютной отдельности друг от друга этих обеих функций.

Анатомическое распределение их таково, что желтое пятно и в особенности центральная ямка снабжены только колбочками, в то время, как боковые области сетчатой оболочки глаза имеют только палочки; между тем и другим имеется смешанная область, где есть и колбочки и палочки. Этому соответствует постоянно наблюдаемый факт, что всякий человек нормально видящий цвета,—в боковых областях поля зрения оказывается все же слепым к цветам. Границы видимости боковыми частями сетчаток для разных красок различны. Это указывает на постепенность развития цветоощущения, в ходе коего мы раньше различали синее-желтое, а затем уже и красное-зеленое. Усложненность ощущений в области колбочек имеет своим следствием уменьшение чувствительности. Поэтому, при увеличении темноты мы лучше видим палочками, и гораздо раньше теряем возможность различать цвета, чем отличать светлое от темного. Бесцветность лунных ландштафтов есть следствие этого явления.

Палочки являются главными носителями *адаптации* или приспособления глаза к общим отношениям яркости. Процесс зрения в палочках связан с разрушением светочувствительного вещества, зрительного пурпура, который вновь образуется благодаря нормальному обмену веществ. Каждой силе освещения отвечает состояние динамического равновесия между распадом и новообразованием зрительного пурпура, благодаря чему количество его делается тем меньшим, чем сильнее освещение. Тем меньшим становится абсолютно и изменение его количества при об'ективно равных различиях света, а также и связанная с этим чувствительность, как то и показывает нам явление адаптации. Можно принять простые химические отношения, по которым одинаковые *относительные* изменения силы света вызывают и одинаковые относительные изменения ощущения, независимо от абсолютного содержания зрительного пурпура,—что также подтверждается опытом.

Самое светлое место в спектре для палочек и колбочек различно, для палочек оно отодвинуто к коротким волнам,—от желтого к зеленому.

Все учение о цвете, которое изложено в данной книге, относится исключительно к зрению колбочками, так как только колбочки воспринимают цвета. Поэтому, оно применимо только к таким силам света, при которых зрение колбочками является определяющим. При этих условиях глаз ограничивает функции палочек совершенно новым, для нас пока-что неизвестным способом, так что их превосходящая чувствительность к свету не проявляет себя. Учение о цвете в дальнейшем, поэтому, совершенно не должно касаться зрения палочками.

Цветоощущающий орган. То большое упрощение, которое разнообразие смесей различных световых лучей претерпевает, является следствием того состояния, в котором находится в настоящее время организация нашего цветоощущения и указывает на то, что воспринимающий орган не реагирует различно, на каждый, физически особый, свет, т.-е. не достаточно тонко развит, но однородно раздражается целыми, довольно широкими областями соседних световых волн, воспринимая при этом различия только в силе света. Если мы пожелаем спросить опыт,

сколько имеется таких областей, то необходимо раньше всего уяснить себе, какое расположение опытов было бы здесь решающим. Если мы будем цветовой круг рассматривать через светофильтры, об'единяющие все цвета в один и дающие нам лишь светлые и темные оттенки одного цвета, то число таких однотонных областей, по моим опытам, будет равняться не менее *пяти*. Эти области соответствуют цветам желтому, красному, синему, морскому-зеленому и лиственному-зеленому. В связи с этим можно предполагать, что орган, воспринимающий цвета, состоит из пяти родов аппаратов, каковые проявляют себя пятью резко отличающими друг от друга способами, независимо от присущего всем им различения силы света.

То обстоятельство, что при помощи трех цветов, соответственным образом отстоящих друг от друга, можно получить все тона цветового круга, было, с другой стороны, основанием для теории *Юнга* и *Гельмгольца*. При ближайшей проверке теория эта показала, что кроме хороших результатов ей присущи и большие трудности.

Наконец, естественное расположение четырех первичных цветов в цветовом круге побудило *Э. Геринга* положить в основу обеих пар: желтый—синий и красный—голубовато-зеленый,—процесс, имеющий полярные свойства (ассимиляция—диссимиляция). К ним добавляется еще и третья пара: белый—черный. Этим трем процессам раздражения, которые существенно отличаются друг от друга, соответствуют три существенно различные между собой нервные процессы или также и три различных органа, отвечающие каждый на один из этих раздражений.

Наши познания о сущности процесса раздражения и о законах его проведения и переработки настолько еще малы в настоящее время, что у нас нет средств, которые позволили бы решить этот вопрос в пользу какой-нибудь одной из вышеуказанных возможностей. Отсюда следует, что в настоящее время, в научном смысле, мало пользы будет, если даже мы и получим откуда нибудь такое решение. Оно сейчас ничего не изменило бы в состоянии наших познаний, так как нам не известна еще зависимость между отдельными фактами. Оно, может-быть, принесло бы пользу тем, что положило бы конец непродуктивно берущим энергию спорам о различных теориях. Но и этого еще может-быть не было бы.

Настоящая книга позволяет видеть, как много плодотворных знаний можно получить совсем и не касаясь выше поставленных вопросов. Соответственно этому и в будущем эта большая область будет очень мало зависеть от решения теоретических вопросов в ту или иную сторону. Я лично должен заявить, что те результаты, которые я получил, не в малой мере должны быть приписаны тому, что я сознательно избегал их ставить. Мы поэтому и в дальнейшем будем держаться этого же пути.

Последовательные образы и явления контраста. Если посмотреть на яркий свет, а затем закрыть глаза, то световое изображение видится еще некоторое время; тем более ясно, чем сильнее было освещение; постепенно это изображение затухает. Это явление называется *положительным последовательным образом.*

Если мы затем посмотрим на светлый фон, то увидим то же изображение, только с обратными световыми отношениями, как на негативе фотографии. Это есть *отрицательный последовательный образ.*

Положительный последовательный образ появляется всегда раньше и позже исчезает. Если световое раздражение не было достаточно сильно, то положительный последовательный образ исчезает так быстро, что нами даже и не воспринимается, в то время, как отрицательный последовательный образ видится еще достаточно ясно.

То, что мы в нашей повседневной жизни постоянно не мучаемся этими последовательными образами, происходит от того, что мы привыкли их уже не замечать и, поэтому, не допускаем их в наше сознание, подобно тому, как мельник не замечает шума своей мельницы, который непривычному человеку может казаться непереносимо навязчивым.

Эти явления показывают, что ощущение получаемое в результате светового раздражения исчезает не одновременно с раздражением, но оставляет двойное последействие.

Первое состоит в продолжении этого ощущения с уменьшающейся силой. Это соответствует тому общему явлению, что каждый орган, как и каждая машина, обладает известной инертностью, влияние которой ограничивается тем берущим энергию сопротивлением, которое образно можно назвать трением и которое всегда ведет к превращению энергии в теплоту. В фотохимических процессах в нашем глазе мы не имеем дела с механической инерцией движущихся масс; все же не трудно представить себе и химическую картину инерции или последействия.

Второе явление можно понять следующим образом: вследствие раздражения, вместе с его эффектом вызывается состояние противоположное первоначальному, которое также постепенно затухает или само собою выравнивается. Также и для этого можно представить себе химическую картину, находящуюся в непосредственной связи с предыдущей.

Кроме ахроматических последовательных образов, существуют и *хроматические*.

Среди этих чаще всего встречаются отрицательные последовательные образы. Они проявляют себя в том, что после хроматического раздражения появляется световой след *дополнительного цвета*, который затухает, следуя логарифмической закономерности. При этом не является обязательным, чтобы на раздражавшееся место сетчатки падало бы какое-нибудь раздражение; хроматические последовательные образы видятся и при закрытых глазах, как и тогда, когда мы смотрим на черную поверхность.

Из этого видно, что благодаря хроматическому раздражению, сетчатая оболочка нашего глаза повергается в такое состояние, которое совпадает с тем, которое вызывалось бы раздражением дополнительного цвета.

Теоретически это явление об'ясняется различно. *Фехнер* рассматривает его, как явление утомления. Глаз, благодаря раздражению данным цветом, стал к нему менее чувствительным. Если затем на глаз воздействует белый свет, то на утомленном месте дополнительная часть света окажет относительно более сильное действие, и это место покажется нам окрашенным в дополнительный цвет. Тот противоречащий факт, что эти дополнительные цвета мы видим и без воздействия извне белого света, он об'ясняет тем, что наше поле зрения никогда не бывает вполне свободным от белого света и что, в крайнем случае, в этом процессе принимает участие серый цвет, являющийся «собственным светом сетчатки». Другой взгляд, который больше всего защищался *Герингом*, состоит в том, что дополнительный цвет последовательного образа не есть следствие пассивного состояния утомления, но есть выражение активной антагонистической деятельности сетчатой оболочки глаза, благодаря которой и возникает полярно-противоположный процесс. Он обозначает эти два противоположные процесса, как ассимиляцию и диссимиляцию; эти процессы, как раньше уже и было указано, представляют собою основание для его теории хроматических ощущений.

Для нас же важным из всего этого является только то, что, благодаря физиологическим условиям глаза, *отношения дополнительных цветов* становятся известными каждому (хотя бы и подсознательно). Эти

отношения представляют собою ту теснейшую закономерную связь, которая только и может иметь место между различными цветовыми тонами и, поэтому, она является основанием всех хроматических гармоний различных цветовых тонов, о чем будет у нас итти речь ниже.

Контраст. Когда мы рассматриваем шкалу серых цветов с расположенными непосредственно друг возле друга полями, как это было описано выше, то эти поля не выглядят равномерно серыми, каковы они есть в действительности. Каждое поле по отношению к более светлому соседнему полю немного больше затемнено, так что наиболее темное место является как бы каймой по отношению к более светлому соседнему полю. Обратное явление мы видим в более светлом поле,—оно больше всего просветляется в направлении к своему темному соседу и больше всего светло на границе с этим последним. Это явление тем яснее бросается в глаза, чем поля лучше граничат друг с другом; благодаря же наличию разделяющих линий, оно уменьшается или даже совсем исчезает. В общем это явление контраста можно описать следующим образом: соседство светлого затемняет данное поле, соседство темного цвета его просветляет, и тем в большей мере, чем ближе оба поля расположены друг к другу. Кроме вышеописанного случая, имеется еще и бесконечное число других, но все их можно привести к этой же формуле.

Это есть ахроматический контраст: светлое—темное.

Кроме этого, имеется еще и другой контраст, хроматический, который можно наблюдать на сточленной шкале хромометра. Соседние цветные поля по своему цветому тону выглядят неравномерно окрашенными. Если посмотрим, например, на область фиолетовых цветов, то каждое поле имеет синюю кайму со стороны более красного, и красную кайму со стороны более синего, которые больше всего выступают в пограничных частях поля и по мере удаления постепенно выравниваются. Явление сводится к тому, что два поля различных цветовых тонов так влияют друг на друга, что один цвет отодвигает другой в сторону противоположного цвета по цветовому кругу и тем в большей мере, чем пространственно ближе они расположены друг к другу.

На вопрос о том, как же далеко идет это передвижение, ответ гласит: вплоть до дополнительного цвета. Впечатление цветового контраста очень зависит от наших знаний о собственном цвете данного поля, подвергающегося контрастному воздействию. Если мы в этом отношении никакой точки опоры не имеем, то контраст немедленно же вызывает цвет дополнительный. Это яснее всего видно на цветных тенях. Если одновременно на одной и той же поверхности отбрасываются две сходные тени, из которых одна об'ективно хроматична, другая же ахроматична, то вторая никогда не выглядит серой, но всегда окрашивается для нас в дополнительный к фону цвет. Серое поле на цветной бумаге лишь после долгого наблюдения, благодаря контрасту, начинает казаться несколько дополнительного цвета. Если мы оба цвета прикроем папиросной бумагой или бумажной калькой так, что больше уже нельзя узнать свойств серого поля, как серого, то он быстро и очень явственно принимает окраску дополнительного цвета.

Мы здесь имеем дело с тем же самым явлением в пространстве, какое у отрицательных последовательных образов мы видим данным во временной последовательности. Общим у этих явлений оказывается то, что раздражение глаза посредством хроматического цвета влияет на него в том смысле, что само по себе возникает ощущение цвета дополнительного. Благодаря такому постоянному непроизвольному эффекту, нам и становятся наглядными пары дополнительных цветов. Тем большее удивление вызывает тот факт, что как раз практики—красильщики и живописцы, которые постоянно имеют дело с цветами, еще и по сей день пользуются

старыми и неверными взглядами относительно дополнительности цветов желтый - фиолетовый, красный - зеленый, синий - оранжевый, что всегда дает повод к построению неудачных «теорий», не имеющих никакой научной ценности.

Расстройство цветоощущения. Рядом с людьми, нормально воспринимающими цвета, закономерности зрения коих и положены в основу нашего учения о цвете, имеется небольшое число лиц, мир цветов которых очень ограничен; это, так называемые, цветно-слепые. Они разделяются на несколько больших групп, между которыми имеются многообразные переходы.

Чаще всего встречаются люди с недоразвитым ощущением красного и зеленого. Подверженные такому недостатку лица путают эти два цвета, в то же время все остальные цвета они воспринимают так же, как и лица, обладающие способностью нормального цветоощущения. При этом различают случаи, когда отсутствует по преимуществу ощущение красного, и случаи, когда отсутствует ощущение зеленого цвета. Метамерные смеси, которые нормально видящим глазом воспринимаются как одинаковые, кажутся и страдающим такими недостатками цветоощущения тоже одинаковыми; им недостает только, следовательно, лишь части всего того большого многообразия ощущений, которым обладают нормально выглядящие.

Гораздо реже случаи, когда не различают синий и желтый цвета.

Наконец, встречаются и такие лица, которые совсем не различают цветов. В сетчатке их глаза имеются только палочки, чувствительные к свету, чему и соответствуют особенности их зрения.

Замечательно то, что среди исследователей, которые занимались или занимаются учением о цвете, часто встречаются лица, страдающие цветовой слепотой. Повидимому их внимание привлекается к этой области теми противоречиями, в каковые они попадают при оценке цветов окружающей их среды. Эта область привлекает их внимание, вероятно, также и потому, что им желательно как-нибудь устранить свой недостаток, или хотя бы смягчить его. Если еще эти лица обладают наклонностью к науке, то, естественно, что их исследования направляются в ту область, где имеется и личная заинтересованность.

ГЛАВА СЕМНАДЦАТАЯ.

Цвет как изобразительное средство.

Задача. Замещение есть самое общее и самое могучее средство научной работы. Оно заключается в том, что к научно изучаемым предметам присоединяют другие с тем, чтобы они замещали первые или чтобы мы мыслили о них, когда речь идет о первых. Если такие замещающие предметы были выбраны так, что с ними можно оперировать легко и быстро, то при их помощи можно овладеть самыми трудными отдаленными темами, если только замещение соответствовало существу дела.

Для того, чтобы это общее рассуждение сделать наглядным, вспомним, как геометрия возникла из необходимости обмеривать поля в Египте после ежегодного разлива реки Нила, каждый раз размывавшего границы. Для того, чтобы определять величины прямо в поле, что технически не всегда возможно, их замещают небольшими чертежами, где искомые соотношения могут быть найдены так же, как и на самом поле. На этом же самом основном законе зиждется всякое вычисление, где числовые обозначения замещают собою те предметы, к которым они относятся.

Если современная наука взвешивает космические тела, которые во много тысяч раз тяжелее, чем сама земля, то это также основывается на вполне рациональных замещающих подстановках, равно как и измерение атомов, которые меньше, чем самая маленькая, видимая глазом вещь.

Для того, чтобы замещающая подстановка могла это выполнять, она должна быть *соразмерной*. Это значит, что она должна представлять собой такое же многообразие, какое имеется в данном предмете. Геометрические изображения египетских землемеров имели те же углы и соотношения сторон, как и настоящие поля, только масштаб их изменился, как того требовало практическое удобство. Это есть самый простой и естественный способ разрешения проблемы подстановки. В настоящее время, благодаря аналитической геометрии, мы можем эти изображения заменить буквами и чертежами, которые не обладают больше непосредственным сходством с самым подлинным об'ектом измерения. Но мы пользуемся этими чертежами согласно правилам, которые дают им те же измерения, которыми обладают и сами предметы, что и дает возможность добиться значительных результатов.

Задача научной работы, таким образом, двойная. Прежде всего нужно найти, каково многообразие исследуемого предмета, т.-е. необходимо установить его элементы и те законы, посредством которых они связаны между собой. Затем мы должны уже разыскать символы, т.-е. замещающие знаки, с помощью которых можно было бы работать. Таким путем для учения о цветах мы установили, что элементами цвета являются белое, черное и полный цвет и нашли их отношения по непрерывности и рядам. Цвета же, которые представляют собой непрерывное многообразие трех измерений, и изготовление которых, каждого в отдельности, взяло бы неопределенно много работы, мы заместили местами в пространстве, так как и здесь мы имеем дело с трехмерной группой. Это дало нам *цветовое тело*, которое в форме двойного конуса весьма поучительно. Другим замещением является уравнение $V + W + S = 1$, которое удобней для вычислений, чем измерение при помощи однотонного треугольника. Как видно, в зависимости от наших целей, мы можем пользоваться различными замещениями.

Обыкновенно, при научной работе обращают внимание только на одну часть, а именно на открытие законов, и не замечают второй—подстановки целесообразных знаков и символов, которые помогают исследователю обобщать те факты, которые он наблюдает. Последнее удается потому, что *язык* и *письменность* представляют собой систему очень общей символики, при помощи коей и бывает всегда возможно зафиксировать и описать наблюдения. Сообразно с этим каждый исследователь и ведет дневник, в котором он каждое наблюдение замещает буквами и цифрами, и таким путем запечатлевает то, что существенно в этих наблюдениях. Таким образом, он освобождает себя от неточностей памяти и тем самым оказывается готовым к дальнейшей работе, которая, опять-таки, развивается при помощи замещающих подстановок и символов.

Язык и письменность имеют применение благодаря их всеобщности, но не потому, что они имеют то же многообразие свойств, которое присуще и различным предметам. Поэтому, составляются особые символы, которые и сопровождаются особыми правилами их применения. Они нам знакомы из обозначений действий в математике, из химических формул и т. д. Они, как известно, экономизируют у работающего необозримые количества энергии, так как сами ведут к правильным результатам самым кратким путем,—конечно, при умелом их применении. Необходимая для того умственная работа раз навсегда уже проделана и вложена в формулы, удобные для использования.

Символика языка и рисунка. Согласно природе человеческого мышления, нанизывающего одну мысль на другую, как звенья одной цели,—и общеупотребляемые символы для выражения мыслей, т.-е. язык и письменность, также одномерны, или линейны, подобно тому, как и само мышление. Даже там, где к услугам имеется поверхность двух измерений, как бумага, ее разлагают на большое число рядов одного измерения, в виде строк, которые мысленно связываются в одномерный ряд. Это и есть соответствующая предмету форма первоначальных проявлений душевной деятельности.

Как только начинается, однако, научное мышление, сейчас же начинает чувствоваться некоторая недостаточность.

Научные законы имеют в общем следующую форму: из А следует В. До тех пор, пока А представляет собой что-нибудь одно, то язык и письменность вполне достаточны для его выражения. Как только А становится группой предметов, и притом непрерывной группой, которая в одном отношении, например, по величине, непрерывно меняется, то и В будет такой же непрерывной группой и для каждого А будет иметься также и особое В. Мы и можем такое отношение выразить, правда, одной формулой, но она все - таки не дает возможности одновременно обозреть все случаи. Таковая требует *двумерного* замещения — подстановки, так как А и В представляют собой две самостоятельные группы. Мы и находим ее в поверхности бумаги.

Изображение в виде рисунка, на котором величины А наносятся горизонтально, а величины В вертикально, таким образом, имеет искомое преимущество перед словесным. Оно поэтому и находит все большее применение, и в настоящее время становится обычным для среднего газетного читателя из таблицы денежных курсов и цен. Признаком схоластического представления о культуре, господствовавшего по сие время, является то, что такая форма изображения, которая технику дает громадные выгоды, вошла в обиход лишь теперь. В народной школе она еще и до сих пор не нашла своего законного места; урок рисования пропадает на нецелесообразных «художественных» стараниях. Не существует пока такого средства, которое бы так существенно облегчило необходимый переход от словесного мышления к мышлению предметному, как привычка пользоваться символикой рисунка, имеющего два измерения.

Какое же отношение имеет это к цветоведению? Двоякое. Во-первых, оно об'ясняет необходимость всемерного усовершенствования изображения однотонных треугольников, цветовых тонов, равнозначных окружностей и цветных тел. Затем, не надо забывать, что цвет может также служить *символикой для изображения других многообразий*. Цвет можно легко нанести на бумагу и, благодаря своей изменяемости по трем направлениям, он необыкновенно обогащает возможности разного рода применений.

Цветовая символика. Идея о применении цвета для выражения особых мыслей в письменности и рисунке очень стара. Если начальные буквы текста или имена князей, богов или других об'ектов почитания, разрисовывались хроматическими цветами в отличие от текста, написанного черным цветом, то этим преследовалась цель выделить при помощи цвета такие предметы, которые желали особенно отличить от других. От этого недалеко и до того, что в настоящее время предлагается в нотах тему выделять при помощи печатания красным. Удивляться здесь можно лишь тому, насколько мало применяется еще этот, под руками имеющийся, прием; больше мы видим его в применении к излишним украшениям, чем к полезному. Причина этому явлению может быть и технической; каждый лишний цвет рядом с черным удорожает печатание.

Поэтому, разноцветность чаще находит себе применение в письменных работах. Красные чернила, которыми учитель исправляет работы, красно-синий карандаш на письменном столе коммерсанта или администратора требуют очень малых добавочных издержек, а потому они и находят себе здесь широкое применение.

Более широко употребляются цветные краски чертежниками. Географические карты и технические чертежи всех родов все в большей мере начинают методически изображаться красками. Комиссия по нормированию германской промышленности как раз в настоящее время разрабатывает знаки для обозначения *материалов производства* при помощи цветов, и геология стремится к тому, чтобы установить однозначную связь между понятиями и цветами на картографических изображениях.

Все - таки мы здесь стоим перед странным противоречием между богатыми возможностями и бедной действительностью, что и заставляет нас поставить вопрос о причине этого несоответствия.

Система цветовых символов. Ответ на вышепоставленный вопрос будет тот же, что мы уже давали по поводу многих других отсталостей в области цветов: не умели измерять цвета, а потому и не умели их расположить в систему, назвать и обозначить. Посредством приведения к группе, которая сама по себе не упорядочена, нельзя, конечно, достичь и пользы рациональной символики. Поэтому-то и были вынуждены оставить невозделанным такое необозримое плодотворное поле и ограничиться самыми простыми формами применения, которые основываются на непосредственно видимых различиях цветов.

Лишь в настоящее время, когда цвета образуют вполне упорядоченную группу трех измерений, можно приступить к разработке цветовой символики, подобно тому, как звуковая символика развилась в язык, и символика формы на поверхности—в письменность.

Также и в данном случае форма значительно обогнала цвет, что прежде всего об'ясняется ее большей технической простотой. Обозначения разных по форме можно создать гораздо легче и быстрей, чем обозначения различных по цвету; первые можно также и легче и быстрее отличить и заучить. Таким образом, и здесь, как всегда, средства производства человечества развивались со скоростью, сообразной не с их логической простой, но с их технической осуществимостью и удобством.

Мы находимся, поэтому, только в начале развития, позднейший рост которого сейчас и предвидеть нельзя; благодаря же запоздалому началу этого развития мы имеем возможность, а вместе с тем и обязанность в начале же выяснить себе самое основное, прежде чем приступить к практическому применению.

Исходным пунктом будет, конечно, расположение самых цветов и их определение при помощи цветовых норм и цветовых знаков. Это расположение трехмерно, и содержит, с одной стороны, незамыкающиеся или прямолинейные ряды, с другой стороны, замкнутые ряды или круги. Поэтому, прежде всего встает вопрос, совпадают ли те или другие свойства их с соответствующим свойствам представляющих их групп обозначений и уже, в связи с этим, можно бывает сделать тот или другой выбор. При этом не надо забывать, что равнозначные круги можно вырезать и применять как прямолинейные. Это замечание имеет в виду то, что из троякого различия всякого цвета самым обычным для нас является различие по цветовому тону, так что его стремятся применять также и там, где замкнутый характер цветового круга несомненен.

В геологических картах, например, возраст горных пород гораздо охотнее будут обозначать различными цветовыми тонами, чем при помощи различных ступеней светло-темной шкалы, или теневого ряда. Так-

же можно различать без всякого колебания от восьми до двенадцати цветовых тонов, но гораздо труднее различать больше четырех или пяти теневых ступеней.

Отсюда мы и заключаем, что раньше всего мы будем иметь дело, главным образом, с различиями цветового тона. Мы выставляем здесь следующее требование, которое и до сих пор ставили, совершенно инстинктивно, не сознавая его основоположного значения: употребляемые вместе *хроматические цвета нужно всегда брать из одного и того же равнозначного круга.*

Сюда прибавляется еще и второе правило: *если данная группа образует натуральный ряд, то необходимо ее представлять рядом цветовых тонов, расположенных в собственном их порядке, начиная с желтого цвета.*

Число цветовых тонов. Оба эти правила требуют ясности относительно того, сколько цветов из цветового круга надо брать для целей символики.

Если речь идет о группах с грубым делением на 4, то следует применять 4 первичных цвета: желтый, красный, ультрамариновый синий и морской зеленый, различаемость которых находится вне сомнений. То же самое можно сказать и о 8 главных цветах. Представителем их обычно бывает *второй* цвет каждого тона, т.-е. второй желтый, второй оранжевый и т. д. Единственным затруднительным местом является ступень ледяной синий—морской зеленый; оба цвета при искусственном желтом свете сходны между собой так, что умение различать их с первого же взгляда требует некоторого навыка. Поэтому и следует избегать одновременного применения обоих этих цветов. При исключении одного цвета, мы остаемся с семью членами группы. Если это нежелательно, то можно вместо второго морского зеленого 79 взять третий 83, который и при свете лампы легко отличается как от второго ледяного синего, так и от второго лиственного зеленого.

В настоящее время дальше 8 цветовых тонов, пожалуй, и не пойдешь. Ни промышленность, изготовляющая печатные краски, не настолько развита, чтобы с уверенностью воспроизводить 24 цвета цветового круга, ни потребитель не развит настолько, чтобы их ясно различать. Грядущее поколение будет иметь дело уже с другими возможностями; сейчас же мы вынуждены ограничиваться этим. Можно было бы еще поставить вопрос о 12-ступенном круге. Так как его наименование не совсем просто (как, например, 1 желтый, 3 желтый, 2 оранжевый, 1 красный, 3 красный, 2 фиолетовый и т. д.), то я не рекомендовал бы пользоваться им.

Будущее покажет, какой круг следует применять в практике. Здесь необходимо лишь указать, что цвета не должны быть слишком глубокими, так как в большинстве случаев буквы, линии и т. д. должны быть на цветной поверхности видны. Так как в дальнейшем, прежде всего, у нас будет итти речь только о светло-чистых цветах, то выбор падает на ia, как на самый глубокий круг, который может иметь практическое применение. Затем идет круг ea, если мы желаем иметь светлые цвета. Необходимо пропустить ga и пойти на две ступени дальше, до ea, для того, чтобы можно было без труда отличать светлые цвета от полных цветов. Меньше всего можно рекомендовать круги ga и ca, так как цвет ca слишком бледен и не дает возможности легко различать цветовые тона.

Обозначение этих цветов принимает, поэтому, очень простой вид. Цвета ia получают свое название без всяких добавлений; оранжевый означает 17ia. Цвета ea получают приставку «светло». Светло-синий, таким образом, будет 54ea.

Если этих 16 цветов не достаточно, то можно еще взять в помощь и тусклый ряд. К вышеназванным больше всего подходит gc. Названия

этих цветов получают приставку «тускло». Таким образом, получаются 24 цвета, различимых с первого же взгляда. Отсюда видно, как обогащаешься благодаря упорядочению материала.

Различные другие возможности применения цветов не трудно себе представить, так как с любой группой предметов, какого бы они ни были рода, можно связать цвета. В особенности необходимо указать на применение цвета, как средства для запоминания, при *обучении в школе*. Директор школы в Хемнице, г. Крауссе, ставил на этот счет опыты, которые дают возможность ожидать ценных результатов.

Технические вспомогательные приспособления. Для того, чтобы применить краски для целей символики, нам необходимо средство, посредством которого можно было бы уверенно и легко наносить их на поверхность; нахождение такого средства столь же важно, как и усовершенствование чернил, перьев, карандашей и т. д. важно для писания; я напомню только о технических успехах, обязанных пишущей машине и фонографу.

Здесь перед нами две возможности: цветные карандаши и водяные туши.

Цветной карандаш дает только один цвет; карандашей, поэтому, требуется столько же, сколько применяется цветов. Промышленность может изготовлять их согласно выше данным определениям. Их применение не требует смачивания бумаги, так что на ней не получается морщин. Все-таки, получаемые окраски выглядят некрасиво, так как они получаются неравномерными и не сплошь кроющими.

Водяные туши можно точно изготовлять из кислых каменноугольных красок. Их можно иметь (подобно карандашам) в готовом виде; хранить их можно всегда наготове в маленьких пузырьках, накрашивать при помощи кисточки. Достижение вполне равномерных слоев окраски не представляет особых трудностей, покраска выглядит необыкновенно красивой, благодаря большой чистоте цвета. С неподходящей бумагой, а именно с пергаментной, легко получаются горбики и складки, которых легко избежать, если наносить краску не вполне мокрой, но полусухой кисточкой. Возможные здесь недостатки устранимы.

Значительное упрощение прибора, влекущее за собой, как обычно, все новые требования, дается применением набора сухих, растворимых в воде красок-таблеток, собранных в моих наборах, называемых «Kleinchen». Обыкновенно упражняются изготовлять на-глаз в чашечках цвета, соответствующие рядам ea и ia; выучиться этому удается легко и с удивительной уверенностью. Несколько труднее бывает получить цвета gc при помощи добавления разведенного черного, но все же и этому научиться гораздо легче, чем то можно было бы предполагать заранее. Если мы поупражняемся несколько раз, сверяя свои результаты с правильно установленными образцами, то научимся этому искусству уже на всю жизнь. Прибор состоит из набора «Kleinchen» в коробке формата 56 × 80 мм. и одной кисточки.

Конечно, вышеуказанные средства не являются технически единственно возможными, а только наиболее доступными. В скором времени обыкновенные акварельные краски выйдут из употребления, так как накрашивания ими не получаются даже приблизительно так чисты, как то дается растворимыми красящими веществами; отсутствует также и соответствие с восемью главными цветами. Все-таки необходима еще более насущная потребность, чтобы развитие пошло дальше, оставив позади современные, все же довольно удовлетворительные, средства.

Дальнейшее. Гораздо дальше, чем эти технические приемы, поведет нас упорядочение мира цветов, дающее нам возможность чувствовать,

себя в этом мире как дома и облегчающее нам сознательное использование и определение цветов в многочисленных областях нашей культурной работы. До сих пор мы стояли перед многоразличием цветов, как перед первобытным лесом. Один знал одну область, другой другую. Некоторые главные пункты были более широко известны, однако, совершенно неясно определены. Таким образом ничего нельзя было понять точно, при желании углубиться в этот лес всегда заблуждались, при об'яснениях же приходилось прибегать к самому примитивному средству — указанию на подлинный оригинальный цвет при рассуждении о цветном предмете. Таким образом, всемерно избегали вступать в эту девственно дикую область, пока того не требовала необходимость и непреоборимое, страстное желание изучить ее основательно и всесторонне для того, чтобы свободно владеть ею.

Радоваться цветам врождено каждому человеку, и эта радость непреодолимо проявляется у каждого ребенка. Чем старше, однако, становится человек, тем более она отступает на задний план. Общая неспособность легко и уверенно изготовлять приятные для нас комбинации цветов вела к известного рода цветобоязни, царившей в последние два столетия; избегали ярких и живых цветов, которые не умели располагать гармонично, вследствие чего и уходили в тусклое царство цветов ненасыщенных, где, по крайней мере, можно было не бояться кричащих диссонансов.

Но вот уже несколько десятилетий, как культурное человечество пресытилось таким положением вещей и вновь обращается к ярким цветам, сначала с боязнью, а затем все смелее и смелее. В настоящее время умы, работающие в этом направлении, роскошествуют, так сказать, в цветовых оргиях, не обращая внимания на возможные диссонансы, а иногда даже и сознательно вызывая таковые. Новейшие направления живописи носятся с идеей (если они вообще какую-нибудь идею имеют) культивировать непосредственное, так сказать музыкальное, воздействие цвета, свободное от связи с реалистическими цветными данностями, хотя, все-таки, и не совсем еще свободное от натурализма, который они лишь насилуют, вместо того чтобы преодолеть.

Все эти стремления могут быть в настоящее время достигнуты после того, как до сих пор первобытный лес исследован, упорядочен и сделан обитаемым в любом его месте. Настоящая книга по цветоведению не была бы полной, если бы мы не изложили тех последствий, которые принесла с собой здесь измеряемость цветов. Короче говоря, нам следует еще остановиться на учении *о гармонии цветов*, которое стало возможным на этой основе. Маленькую часть этой темы, а именно, гармонию ахроматических цветов, мы уже бегло рассмотрели; она оказалась, как мы видели, непосредственным следствием нормирования цветов. Из этого же самого источника проистекает и гармония цветов хроматических. Мы остановимся в дальнейшем на них в их взаимной связи.

ГЛАВА ВОСЕМНАДЦАТАЯ.

Гармония цветов.

Главный закон учения о красоте. Когда мы нормировали серые цвета, то это делалось вне всякой зависимости от вопросов эстетики, при тщательном учитывании лишь законов нормирования, а в результате мы получили в награду, как спелый плод этой работы, столь же неожиданный, как и обрадовавший нас, — *гармонию.* Это явилось след-

ствием того общего закона, который сказывается во всех областях искусства: *закономерность=гармония*. В области цветоведения этот закон был прежде всего выставлен теоретически, а затем уже проверен практически. При этом закон этот был высказан не в виде приблизительного и неопределенного утверждения, а по образцу точной науки, где закон природы выступает (если только он действительно заслуживает этого названия) с претензией на общезначимость.

Я, поэтому, и постарался проверить, обладает ли и вышеуказанный закон значимостью, и исследовал под этим углом зрения все отрасли искусства. Результат был всюду утвердительный. Здесь достаточно привести только несколько примеров; это сделать необходимо, чтобы вызвать доверие к безусловной и полной правильности этого закона и тем самым обеспечить его применение и в мире цветов.

Прежде всего укажем, что закон этот играет определенную роль в мире звуков. Для того, чтобы два тона гармонично относились друг к другу, выражающие их величины,—число колебаний,—должны находиться в закономерных соотношениях и среди них прежде всего *в самых простых*. Гармонические интервалы имеют следующие отношения чисел колебаний: октава 1 : 2; квинта 2 : 3; кварта 3 : 4; большая терция 4 : 5; малая терция 5 : 6. Других гармоничных соотношений не существует, и все музыкальные соединения тонов без исключения основаны на трех первоначальных факторах этих чисел—на 2, 3, 5.

Подобная же простая закономерность существует и для ритма (такта), разделения пьесы на периоды и для контрапункта.

Для поэзии и архитектуры имеются сходные же отношения.

Таковы применения закона, относящиеся к уже имеющимся и хорошо знакомым отраслям искусства. Я утверждаю, что каждый закон природы существует для предсказания. Если попытаться его приложить к случаям еще неизвестным, то при его помощи можно заранее подсчитать результаты и, если только наш закон верен, найти ожидаемое.

Возможность этого «experimentum crucis» неожиданно сказалась там, где ныне можно считать вопрос уже решенным, а именно в учении о форме. Наше правило гласит: все закономерные формы красивы. Есть ли это в действительности?

Как известно, все кристаллы более или менее красивы. Уродливых кристаллов не существует. Почему? Потому, что все кристаллы образованы согласно простым законам, управляющим распределением их молекул в пространстве. Даже нарушенная кристаллизация, как это имеет место на ледяных узорах на окнах, тоже красива, благодаря закономерности в ней имеющейся

Следовательно, здесь мы имеем опять-таки полное подтверждение. Но мы можем проверить основное правило еще более точно. Оно дает нам возможность творить красивое и в области еще неизвестной с этой стороны. Если мы решаем вопрос, каким образом можно точки и линии просто и закономерно расположить на поверхности, и осуществляем такие расположения, согласно расчетам, то полученные изображения должны быть красивыми. Совпадает ли это с действительностью?

Опыт и здесь не оставляет никакого сомнения в правильности вышесказанного закона. В своей книге, появившейся в 1922 г.: «Die Harmonie der Formen» Leipzig, Verlag Unesma, я тщательно провел этот эксперимент. При этом подтвердились не только все законы орнаментики или учения о красивых формах, как они были установлены художниками еще тысячи лет тому назад, но помимо этого открылось непредвиденное множество новых красивых форм, которых творческая фантазия

всех времен и народов до сих пор не была в состоянии выработать. *И среди всех этих форм не было ни одной уродливой.*

Я говорю о тщательной проверке основного закона здесь, так как в области форм особенно легко и однозначно можно различить красивое от безобразного. В области же *цветов* наше чувство гармонии так мало развито, вследствие недостатка в пережитых гармониях, и в то же время вследствие запутанности, порожденной переизбытком негармонирующих цветовых сочетаний, которые мы ежедневно видим, что здесь столь же определенное суждение невозможно. Поэтому же и необходимо укрепить доверие к ожидаемым результатам основного закона в области цветов раньше всего этими фактами из области восприятия формы для того, чтобы приняться за проверку указанной закономерности и в области цветовых гармоний и смело выступить против обывательских предубеждений, отрицающих связь между переживаниями красоты и рациональностью.

Гармонии серых цветов. Существенное о гармониях серых цветов было сказано раньше. Здесь мы только пополним их систематику и изложим ее в более связном виде.

Были установлены одноступенные, двух-и трех-ступенные гармонии, в зависимости от расстояния цветов друг от друга. Одноступенные суть: ace, ceg, egi, gil, iln, lnp. Двухступенные: aei, cgl, ein, glp. Трехступенные: agn, cip. Каждый образец с тремя серыми цветами может быть воспроизведен минимум шесть раз различным образом одними и теми же цветами. Если будем считать, начиная от края к середине, все места, которые получат разные цвета, то можно, например, цвета ace расположить следующим образом: ace, aec, cae, cea, eac, eca. Это указывает, что те вышеуказанные двенадцать гармоний могут иметь $6 \times 12 = 72$ различных форм своего проявления.

Сейчас передо мной находятся 6 больших рам и в каждой из этих рам имеются по 12 таких образцов. Я их наблюдал сотни раз и мое удовольствие от них еще далеко не исчерпано. Это относится как к красоте каждого образца в отдельности, так и к благозвучию их общего сочетания.

Хроматические гармонии. Серые гармонии получились как непосредственный результат нормирования ахроматических цветов, при коем мы стремились удовлетворить требование психологической равноступенности. Только благодаря этому оказалось возможным осуществить самые простые закономерные отношения между тремя цветами, а именно равность даваемых ими двух расстояний. Одномерность серого ряда обусловливает то, что имеется только одно такое простое решение этой задачи. Кроме этого возможны лишь соотношения расстояний более сложные. Но употребление таких сложных гармоний должно быть исключено, как непонятное до тех пор, пока человечество или хотя бы малая часть его, способная наслаждаться гармониями серых цветов, не вполне привыкла к более простым соотношениям.

Для хроматических же гармоний заранее можно предвидеть гораздо более сложные отношения. На место одномерного серого ряда здесь выступает трехмерное цветовое тело, и на место ограниченных рядов с различными конечными точками здесь выступают замыкающиеся в себе ряды цветовых кругов. При этом, однако, ахроматический ряд образует существенную часть цветового тела, его позвоночный столб, и поэтому закон серых гармоний органически связан с законами гармоний всего цветового тела.

Все эти требования и оказалось возможным удовлетворить. В интересах нормирования были разработаны закономерности мира цветов и геометрически выражены в двойном конусе. Гармонические соотношения

этим самым возможно выразить как особенно простые геометрические зависимости в цветовом теле; этим самым возможно будет легче и проще находить и понимать законы гармоний.

Две главные группы. Самые простые геометрические отношения цветового тела даются его главными сечениями и его окружностями.

Под главным сечением подразумевается такое сечение поверхности, которое идет через ось цветового тела. Оно делит двойной конус на две одинаковые половинки, и дает в разрезе ромб. Этот ромб состоит из двух однотонных треугольников, расположенных друг против друга и дополнительных друг к другу по цвету. Сходясь вместе в общую ось серых цветов они и образуют ромб главного разреза. Придется поэтому одну группу гармоний искать в однотонном треугольнике, имея при этом в виду и треугольник дополнительного цвета.

Во-вторых, двойной конус есть тело вращения и каждая точка главного сечения описывает, поэтому, окружность, центр которой находится на этой оси, плоскость же коей перпендикулярна к ней.

Получаемые таким образом окружности являются кругами равнозначных цветов.

Этим самым мы будем иметь простейшие гармонии двоякого рода: гармонии однотонных треугольников и гармонии равнозначных кругов. В этом мы и найдем основы для всех цветовых гармоний.

Дальнейшее развитие этих простейших гармоний мы получим при закономерном соединении двух или больше упорядоченностей такого вида. Так и можно, исходя из простых отношений, достигнуть все более высоких сложных комбинаций. Если необходимо ясно представить себе также пути возможного развития, то никогда не должно забывать, что для того, чтобы мы могли наслаждаться более сложными гармониями и понимать их, нам раньше должны стать понятны случаи самые простые.

Наконец, придется еще разработать вопрос о зависимости между хроматическими и ахроматическими гармониями с точки зрения простейшей закономерности. Ответ на это открывает нам новую группу удивительно красивых сочетаний.

Однотонные гармонии. Соединение любых двух или трех цветов, произвольно выбранных из 36 полей однотонного треугольника, слишком мало закономерно, чтобы можно было ожидать здесь какого-нибудь эстетического действия гармонии. Мы должны выискивать более тесные или более определенные закономерности.

Таковые и находятся в параллельных сторонах треугольника линиях равно-белых, равно-черных и равно-чистых цветов. Эти ряды более тесно связаны между собой, чем любые случайно выбранные поля.

Мы начинаем с теневых рядов, так как они нам больше всего известны из опыта. Они идут параллельно ахроматической оси и очень ей подобны, так как ряд бело-черных цветов в то же время есть и теневой ряд. Поэтому, мы можем непосредственно перенести закон его гармоничности на другие теневые ряды: *впечатление гармоничности производят три* (или больше) *цвета теневого ряда одинаково отстоящие друг от друга.*

Опыт наилучшим образом подтверждает это заключение. Я приготовил большое число образцов согласно этого закона и получил во всех случаях без исключения красивейшие гармонии. Эффект значительно усиливается, если применить этим же образом ряд последовательных гармоний как ca.ec, ge; ec, gi, ig; ge, ig, li; ig, li, nl; li, nl, pn и т. д., и показывать листы один за другим. Закономерное спадание от светлого к темному, при сохранении общего характера впечатления, вызывает новую закономерность, новое впечатление красоты.

Так же как мы видели выше при рассмотрении логарифмического треугольника ряды теней будут тем короче, чем они чище. Тройные гармонии возможны поэтому только до чистоты X (la, nc, pe), так как следующий теневой ряд состоит только из двух членов. Общее число одинаково отстоящих друг от друга гармоний в треугольнике равняется 22, во всех же 24 треугольниках, поэтому, их возможно 528; это такое множество, что даже при расточительном пользовании не так скоро его исчерпаешь.

Оттенки. Тот же закон одинаковых расстояний можно применить к рядам равно-белых и равно-черных цветов, при этом мы получаем новые гармонии, которые до сих пор были почти неизвестны.

В декоративном искусстве, как известно, уже издавна применяются гармонии цветов одного и того же тона, и немного найдется таких ковров и обоев, где не нашли бы себе более или менее широкого применения «тени» одного и того же тона. Большинство же из них все-таки не достигают желаемого действия по двум причинам. Во-первых, потому, что закон одинаковых расстояний до сих пор не был известен, а, во-вторых, потому, что ряды оттенков одного тона брались правильно лишь в редких случаях.

Проблема однотонных оттенков всегда сызнова ставится у художников натуралистического направления, по которому и шла до сих пор живопись. Если рассмотрим первые начала оттенения в миниатюрах Средних веков, то легко можно понять тот метод, с помощью которого они пробовали выразить теневые ряды. Как самую глубокую тень брали чистую краску, для средних цветов к нему примешивали немного белого, а для светлых—примешивали его большое количество. В старых книгах о живописи вплоть до *Ченнини* можно найти подробное описание этого метода.

Этот же способ находит себе применение и в настоящее время, когда оттеняют цвета различной пряжи при плетении ковров и вязании. Тени красятся концентрированным раствором краски, средние и более светлые же—разбавленной краской.

Низкий уровень развития у нас чувства гармонии нигде так ярко себя не проявляет, как в том, что совершенно фальшивый способ, без всяких сомнений в нем, и по сей день находит себе применение. Один «проспект нормальных цветов» по шелку, изданный при поддержке большой фабрики каменноугольных красок с большой помпой и большими затратами, имеет эту же самую ошибку, а потому и не представляет никакой ценности; не имел он и практического успеха. Эта ошибка вызывает неустранимо-неприятное впечатление, которого и самые искусные прядильщицы не могут избежать, если только они употребляют покупной цветной материал; а другого, ведь, не существует.

В чем же кроется ошибка? Для живописи эту ошибку нашел еще гениальный *Леонардо-да-Винчи*. Как прирожденный экспериментатор он ответил на вопрос: как я оттеняю данный цвет?—следующим указанием: набрось на данный цвет действительную тень и срисуй его так, чтоб он выглядел так же, как подлинно затененное место. При выполнении этого указания,—что было поистине в своем роде Колумбовым яйцом,—он нашел, что надо к взятой краске добавить черного, а не данную же чистую краску, как гласил старый рецепт. Таким путем он достиг телесности в своих картинах, которые приводили его современников в восторг и восхищение, так как ничего подобного до него не было. Открытие и практическое применение содержания серого в теневых цветах, это и есть подлинный смысл того «светло-темного», открытие коего приписывается Леонардо-да-Винчи, и о сущности чего мы ни в одной книге

по искусству или истории искусства ничего подходящего не находим, как ни часто там идет об этом речь.

Теневые ряды это не те ряды, которые мы получаем при посветлении красок при помощи белого (или разбавления лессировочной краски на белом грунте); последние суть, приблизительно, светло-чистые ряды, т.-е. ряды равно-черных цветов. Таковые цвета становятся тем более чистыми, чем они темнее, в то время как правильные теневые ряды сохраняют свою чистоту одинаковой на всех ступенях. Против этих ошибок напрасно восставал цветовой инстинкт прядильщиц, так как никто и не подозревал насколько обыкновенные ряды ошибочны.

Кроме вышеизложенной ошибки, эти ряды содержат и другую, можно сказать, еще худшую. Многие красящие вещества, в особенности желтые и оранжевые, с одной стороны, и ультрамариново-синий и ледяной синий—с другой, меняют свой цветовой тон в зависимости от густоты накрашивания. Цветовой тон при этом тем более сдвигается в сторону зеленого, чем разбавленнее краска. Отклонение может достичь одной десятой всего цветового круга, т.-е. дойти, например, от ультрамаринового синего до ледяного синего, от оранжевого до желтого,—смещение весьма значительное. Выше, в учении о цветовом полукруге, была изложена законная необходимость этого явления. Практическим следствием отсюда будет то, что многие преднамеренные оттенки одного и того же тона не дадут одинакового цветового тона, но позеленеют при разбавлении, вследствие чего будут выглядеть особенно некрасиво.

Благодаря этим частым ошибкам, вышеописанные правильные гармонии из теневых рядов влияют особенно приятно, как чистый аккорд среди расстроенных созвучий. Для получения таких правильных гармоний необходимы краски или пряжи, свободные от вышеуказанных ошибок, благодаря применению к ним новых измерительных способов и одинаково отстоящие друг от друга по норме.

Другие однотонные ряды. Если до сих пор теневые ряды ни разу не были правильно приготовлены и применены, то мы должны рассматривать как уже совершенно неисследованную область прочие ряды, а именно ряды равно-белых и равно-черных цветов. Так как содержание белого больше определяет вид цветов, чем содержание черного, то равно-белые цвета нам более понятны. Они дают гармонии, следуя тому же закону равных расстояний, но эти гармонии явно отличаются от гармоний цветов равно-чистых. Равное содержание белого обусловливает то, что цвета не показывают рельефности, как это бывает у теневых рядов, но остаются лежать на плоскости. Разница в чистоте, при коей более светлые цвета в то же время являются и более чистыми, вызывает своеобразное горение или свечение, являющееся характерной чертой этих гармоний. Для того, чтобы представить их себе, очевидно, необходимо изучение соответственно окрашенных образцов.

Равно-черные ряды также дают, согласно закону равных расстояний, гармонии, которые, однако, нам труднее всего понятны. Здесь более светлые ступени менее чисты, чем более темные. Благодаря этому получается как бы внутреннее противоречие, которое характерно для психологического влияния такого рода сочетаний. Можно ожидать, что в будущем мы будем иметь в этом особое, своеобразное раздражение. Но восприятие его недоступно нам раньше, чем мы после теневых рядов не освоились еще с гармониями цветов равно-белых. Поэтому, систематическое использование равно-черных гармоний есть еще дело будущего.

К этому надо добавить, что ошибочные теневые ряды, которые раньше были указаны, состоят приблизительно из равно-черных цветов

светло-чистого ряда с наименьшим содержанием черного. Правильные светло-чистые ряды выглядят, правда, гораздо лучше; в настоящее время, однако, воспоминание о старых ошибках плохо будет влиять на впечатление ими вызываемое. Из-за этой же причины прежде всего вовсе избегают их применять, или же прибегают к ним лишь в тех случаях, когда благодаря им правильное восприятие облегчается наличными образцами.

Число возможных гармоний как в равно-белой, так и в равно-черной группе одинаково с тем, какое дается группой равно-чистых цветов. Перед нами, поэтому, практически имеется неисчерпаемый источник.

Других одинаковых простых законов гармоний в однотонном треугольнике не имеется. Если изложенное учение только что указало на имеющееся у нас здесь богатство гармоний, то оно также указало точно и их границы, что также не менее ценно.

Ахроматически-хроматические гармонии. В то время как теневые ряды в своих конечных точках имеют наверху светло-чистый цвет, а внизу цвет темно-чистый (или близкий к такому), и оба эти последние цвета принадлежат к области хроматических цветов,—каждый ряд равно-белых и равно-черных цветов оканчивается одним своим концом на ахроматической стороне треугольника, т.-е. заканчивается серым цветом, который также может выступить, как составной элемент гармонии, наряду с хроматическими ее членами. Этим открывается доступ к особой и особенно-красивой группе гармоний, получаемых из одновременной данности ахроматических и хроматических цветов.

Вопрос о том, какие серые цвета будут гармоничны с данными хроматическими, выясняется непосредственно из только что изложенных рассуждений. Каждый равно-белый ряд заканчивается тем серым, знаком которого будет его первая буква, т.-е. буква, указывающая содержание в нем белого; каждый же равно-черный ряд заканчивается серым, обозначенным второй буквой. Поэтому, достаточно видеть лишь эти две буквы цветового обозначения у любого хроматического цвета, чтобы непосредственно же узнать те серые цвета, которые гармонируют с данными.

Согласно этого, каждому хроматическому цвету принадлежат два ахроматических. Если расположим гармонии по увеличивающейся хроматичности, то к чисто-серым гармониям примыкает в качестве ближайшей такая, которая состоит из одного хроматического цвета и двух соответствующих серых. Так, к цвету 13 ie относятся ахроматические цвета i и e. Когда проверяем на-глаз это сочетание — оно выглядит вполне удовлетворительно, в то время как добавленное черное или белое поле—заставляет хроматический цвет казаться тусклым.

«Белое и черное не портят гармонии». Это положение часто приходится слышать из уст портних, модисток, декораторов и других лиц, занятых составлением цветных сочетаний. Оно, однако, в корне неверно и служит лишь лишним доказательством того, насколько испорчен цветовой вкус европейцев, благодаря отсутствию научного его воспитания.

Какие цвета подходят к белому «a»? Таковые, в обозначении которых встречается буква «a». Это и есть краткий и исчерпывающий ответ, который получается при применении вышеустановленного правила. Так как буква «a» никогда не может быть первой буквой какого-нибудь обозначения цвета, то она должна быть второй буквой. Цвета же, в обозначении которых находится буква «a», суть цвета светло-чистые. Из этого следует: *к белому цвету подходят только светло-чистые цвета.*

Первая буква может быть различной, равно как и номер цветового тона. Можно, поэтому, соединять с белым, как розовый или небесно-голубой, так и красную киноварь или ультрамариновую синюю. Но нельзя соединить с белым цвета бутылочно-зеленый, сине-черный, черновато-желтый, так как они рядом с ним выглядят «грязными», вследствие того, что содержат черное.

Практические применения этого правила бесчисленны, так что достаточно здесь лишь нескольких примеров. Для фарфора уже издавна инстинктивно применяли почти исключительно светло-чистые цвета, так как сама масса его и основной цвет—белый. Исключения могут быть допущены при следующих двух обстоятельствах. Можно прикрыть весь белый грунт; тогда, конечно, уже имеешь полную свободу в выборе цвета. Или же тусклые цвета могут оправдываться соответствием естественному цвету данного изображаемого предмета. Это имеет место, например, на натуралистических рисунках на копенгагенском фарфоре, который в большинстве случаев окрашивается в тусклые цвета; у него нередко встречается также и полное прикрытие белого основания краской. Натуралистические картины, как-то: пейзажи, жанровые рисунки и т. д. делают возможным применение тусклых цветов. Но таковые обусловливают соответствующее ослабление впечатления цветовой красоты, если даются нам рядом с большими белыми поверхностями. Поэтому художник с более развитым вкусом предпочтет и здесь возможно больше прикрывать белый цвет основания.

Далее, хотя дети и совсем молодые девушки могут носить белые платья,—белый цвет совершенно непринят для пожилых дам. Причина этого лежит в том, что начиная с двадцатилетнего возраста к цвету кожи нашего лица прибавляется некоторое количество черного, благодаря отложению красящих веществ в клеточках поверхности нашей кожи; на большом белом фоне присутствие этой пигментации особенно выделялось бы и делало бы цвет лица «грязным». Если же мы сочетаем его с такими цветами, которые содержат относительно больше черного, то цвет кожи благодаря контрасту выглядит светлее и чище.

Малые белые поверхности, даваемые узкими воротничками, повязками и т. д. вызывают приятное впечатление чистоты и могут, поэтому, в таких случаях действовать положительно в смысле украшения, хотя взятые только как цвет они способны влиять скорее отрицательно.

В восточных коврах, хроматические цвета которых довольно тусклы, мы никогда не находим чисто-белого, которое чувствительно мешало бы впечатлению от самих цветов. Хотя в первую голову это зависит от того, что восточные народы не знали, как отбеливать шерсть, т.-е. никогда не имели в своих руках шерсть чисто-белую. Но они и заметили бы, что таковая уничтожила красоту из изделий.

Так же, как относительно белого, мы можем сделать заключение и о черном: *к черному подходят только такие цвета, которые бедны белым.*

Так как цвета предметов никогда не бывают абсолютно черными, то мы всегда имеем дело в качестве самого темного с некоторым темно-серым цветом с определенным содержанием белого. В качестве цветов для украшения могут служить, поэтому, хроматические цвета с одинаково малым содержанием белого. Содержание же черного может быть любым; во всяком случае, нельзя сказать, что подходящи здесь только «чистые» цвета.

Отсюда становится, между прочим, ясным, почему нравится комбинация черное—красное. Из всех хроматических цветов красный цвет легче всего приготовить в особенно глубоких, бедных белым окрасках.

Так как красоту черного попросту определяют по малому содержанию в нем белого, то все искусство красильщика с древних времен и было направлено на то, чтобы уметь красить в такой черный цвет, который бы содержал очень мало белого. В отношении хроматических цветов, хотя такое стремление и имеется, но оно все-таки не так велико; если же будем искать среди хроматических цветов такой, которой больше всего подходил бы к глубоко-черному цвету, то кроме красного мы найдем таких цветов очень мало.

Среди цветов более богатых белым, глубокий черный цвет выглядит фальшиво и некрасиво. На большой стенной картине *Клингера*, имеющейся в зале Лейпцигского университета, справа виден Александр в полном вооружении, приближающийся к группе людей, среди коих находится Платон. Он несет свой меч в черных ножнах (*Клингер*, наверное, желал бы видеть здесь черную блестящую кожу), цвет коих содержит гораздо меньше белого, чем самая глубокая тень в окружающем. Если раз почувствовать это противоречие, то совершенно нельзя освободиться от возникающего неприятного впечатления: самые глубокие тени так черны, как отверстие темного ящика, что совершенно исключает возможность еще более черного цвета при тех же условиях освещения.

Ту же ошибку мы нередко встречаем и у других знаменитых художников, которые рисуют черные предметы темнее, чем самые темные тени окружающего. Фотография никогда таких ошибок не делает.

Если одновременно наличны черный и белый цвета, то выбор гармоничного хроматического цвета очень ограничен. Первый требует минимального содержания белого, а второй—минимального содержания черного. Хроматический цвет должен, поэтому, настолько приближаться к чистому цвету, насколько это обусловлено остатком белого в имеющемся черном. Поэтому, комбинацию белый—черный—красный легче всего составить гармонично. Если нельзя получить хроматических цветов, очень бедных белым цветом, то необходимо черный цвет передвинуть к соответствующему темно-серому.

На фарфоре легко получить очень глубокий черный цвет при помощи окислов металлов; такой черный иногда применяется на всякого рода пестрых изображениях и не гармонирует со всеми остальными цветами, содержащими гораздо больше белого; поэтому следовало бы применять взамен его темно-серый цвет, который, правда, гораздо труднее приготовить, чем черный.

Серое и хроматическое. К любым двум ахроматическим цветам всегда подходит гармонично один хроматический цвет из круга цветов, обозначаемого теми же двумя буквами. Если желают, например, комбинировать цвета e и n, которые сами по себе еще не гармоничны между собой, то можно таковую гармонию получить если к этим двум цветам добавить еще хроматический цвет из круга ne.

Так как наши нормы содержат 8 ахроматических цветов, то можно получить 28 ахроматических пар, к каждой из коих подходят 24 хроматических цвета, соответствующего равнозначного круга. Это дает уже 672 различных гармоний,—практически, опять-таки, неисчерпаемое множество.

Если пробовать такие комбинации, при чем необходимо обращать тщательное внимание и на форму цветных полей, то приходится удивляться их простой и все же неотразимой красоте. Мы имеем здесь возможность самыми простыми средствами вызвать новые и ценные эффекты цветовой гармонии на всех предметах, окрашивание которых зависит от нашего желания, т.-е. на большинстве продуктов производства—от оберточной бумаги вплоть до океанского парохода.

У гармоний только серых цветов, гармоний, содержащих три ахроматических цвета, получается три различных двойки. Они позволяют, следовательно, присоединять к ним хроматические цвета из трех равнозначных кругов. Таким образом, принадлежат, например, к ахроматической гармонии c g l, круги gc, lc и lg. Из этих gc и lg находятся в одном теневом ряду и две другие пары в равно-белом и в равно-черном рядах.

Это означает, что серую гармонию возможно обогатить тремя различными хроматическими цветами одного и того же цветового тона. Вначале удовлетворяются одним из них и бывает в высокой степени поучительно приготовлять один и тот же серый образец трижды и дополнять его каждый раз одним из трех гармонических цветов выбранного цветового тона. В вышеизложенном примере gc влияет мягко и светло, lc влияет живо и красочно, lg глубоко и спокойно. В зависимости от ставимой себе цели художник берет ту или другую краску.

Гармонии только что описанной группы особо наглядны и поэтому хорошо поупражняться вначале в воспринимании именно их.

Гармония становится богаче, если выбирают два хроматических цвета одного и того же цветового тона. На основании изложенного выше, наибольшее преимущество имеет здесь пара из теневого ряда; затем уже идет равно-белая пара.

Конечно, можно сделать впечатление богаче еще и взяв цвета различного цветового тона из одного из трех равнозначных кругов.

Все-таки это предполагает знание гармоний цветов различных тонов; о таких же гармониях у нас речь будет ниже.

С помощью таких гармоний хроматически—серых цветов можно решать, например, вопросы о цветной окраске школьных комнат, стен присутственных мест и т. п. Характер серьезности этих помещений исключает применение здесь сплошь хроматической цветности; с другой стороны желательно и не впадать в скучное однообразие тусклого серого. Оба требования можно выполнить, если главным цветом берут нейтральный серый, и присоединяют к нему в виде фриза или каймы—хроматические цвета, гармонирующие с данными серыми. Т.-е. один или два других серых, а к ним один или два хроматических цвета, следуя вышеизложенным основным правилам. Если подсчитать, как то мы делали и выше, число возможных комбинаций, то получаются такие цифры, которые говорят о возможности украсить особыми, различными цветами не только комнаты одного учреждения, но и целого города, и притом без повторения одной и той же комбинации. При этом эти комбинации могут вызывать любые настроения, от спокойной серьезности до заразительной веселости.

Те опыты, которые я ежедневно проделываю в маленьком масштабе в этом направлении, вполне подтвердили неиспользованную еще красоту этих гармоний.

Я вынес впечатление, что здесь открывается возможность нового стиля использования цвета в пространстве и архитектуре, который связал бы строгую замкнутость с неиссякаемым разнообразием и при этом в хозяйственном отношении представлял бы собой одну из наивыгоднейших возможностей.

Гармонии цветов, различных по своему цветовому тону. Во всей предыдущей литературе о гармонии цветов всегда шла речь собственно только о цветовых тонах; мы никогда не встречаем рассмотрения других

сторон цвета, как будто только цветовой тон обусловливает гармонию. Так *Гете*, в своей заключительной главе о чувственно-нравственном влиянии цветов, об'ясняет влияние противоположных, далеких и близких пар цветов исходя из своего шестичленного (и, следовательно, неверного) цветового круга; полученные им выводы совсем не согласуются с действительностью. Таким же образом он безусловно откидывает пару цветок: синий—зеленый, как сочетание противное, и обозначает его, как цвет дурацкий, в то время, как мы сейчас приписываем определенным сочетаниям этих цветов высокую эстетическую ценность. Там, где он говорит о влиянии посветления или потемнения, он всегда предполагал, что все то, что относилось к чистым цветам, будет верно и в применении к цветам тусклым.

Одним из богатых последствиями положений, установленных новым цветоведением, является тот взгляд, что цветовому тону это господствующая роль не принадлежит. Та ошибка, в которую здесь впадали, мешала прежде всего открытию серых и хроматически-серых гармоний, и она же не давала теоретического обоснования для гармоний однотонных, что и отсуствует как у *Гете*, так и у его последователей. Только те исследователи, которые близко соприкасались с практикой, нашли, что гармонии одного тона имеют широкое применение; они пытались также основательно изучить их, но последнее им, конечно, не удавалось, из-за отсутствия способов измерения цветов.

С современной точки зрения мы можем утверждать следующее. Если цвета различных цветовых тонов дают гармонию, то при этом должны согласоваться и остальные их элементы, как-то содержание в них белого и черного, ибо в противном случае между ними не будет закономерной связи. *Мы должны, поэтому, искать гармоний различных цветовых тонов в цветах равнозначных кругов* и мы их там найдем, ища соотношений, определяемых в круге самыми простыми законами.

Деление цветового круга. Дополнительные цвета. То, что дополнительные цвета, диаметрально противоположные друг другу в цветовом круге, самым определенным образом друг с другом связаны, известно уже издавна и всеми признано. Если, несмотря на это, все же часто возникали серьезные сомнения, действительно ли дополнительные цвета гармоничны, а иногда так это определеннейшим образом даже и отрицалось, то теперь нам ясно, почему такое разногласие могло иметь место. Из-за незнания необходимости для гармонии того, чтобы и остальные элементы цветов были одинаковы, гораздо чаще комбинировали и соответственно этому оценивали негармоничные дополнительные цвета, беря таковые с различным содержанием в них белого и черного, чем гармоничные с одинаковым содержанием этих последних. К этому еще надо добавить ту живучую ошибку относительно пар дополнительных цветов, на которую мы выше указывали, и благодаря коей брали нередко в качестве дополнительных цветов на самом деле цвета не дополнительные. После этого и нечего удивляться тому, что как раз серьезные и тонкие наблюдатели не могли разделять старый взгляд о безусловной гармоничности сочетаний дополнительных цветов.

Если не впадать в указанные ошибки и брать правильные пары из одного и того же равнозначного круга, то можно легко убедиться в гармоничности отношений равнозначных дополнительных цветов.

Та́к как, в силу общих физиологических процессов в глазу, каждый цвет влечет за собой ощущение дополнительного цвета в виде контраста и последовательного образа, то нам почти также хорошо известны пары дополнительных цветов, как и теневые ряды. Имеется целый ряд опытов,

которые ясно доказывают самопроизвольное проявление у нас в глазу к каждому цвету дополнительного к нему цвета. Обыкновенно этот процесс отодвигается на задний план потому, что нам известны собственные цвета предметов, и мы, поэтому, невольно не обращаем внимания на ощущение дополнительного цвета. Но там, где эта последующая корректура отсутствует, контрастные цвета сейчас же появляются, как об этом и было сказано выше.

Таким образом, дополнительные цвета дадут нам, действительно, самые естественные равнозначные гармонии.

Теплые и холодные цвета. Психологическое действие пар дополнительных цветов очень различно, даже тогда, когда мы их берем из одного и того же равнозначного круга. Цвета теплые и холодные различаются уже издавна, и этим самым устанавливается существенное различие в круге цветовых тонов. Лиственный зеленый, желтый, оранжевый и красный—суть цвета теплые; фиолетовый, ультрамариновый синий, ледяной синий и морской зеленый—суть цвета холодные. Граница лежит с одной стороны между 33 и 38, а с другой стороны между 83 и 88. В этих двух местах имеются довольно быстрые переходы.

Причиной такого основного различия является то, что к холодным цветам нераздельно присоединяется доля черного, равняющаяся приблизительно половине доли чистого цвета.

Теплые цвета становятся заметно более холодными, если к ним прибавить черный. Нужно только приготовить, описанные выше, оранжевые гармонии цветов различной чистоты, чтобы убедиться в том, как впечатление цвета сдвигается в сторону холодного по мере уменьшения чистоты, т.-е. чем в большей мере теплый чистый цвет замещается черным. Этим и об'ясняется то, что, благодаря естественному содержанию черного во всех цветах, начиная фиолетовым и кончая морским зеленым, они кажутся холодными.

В остальном у наиболее чистых цветов их содержание черного не заметно. Хороший ультрамариновый синий цвет производит то же впечатление чистого и полного цвета, как киноварь или желтый кадмий, хотя эта синяя и содержит в себе одну треть черного. Этот синий гармоничен с чистым желтым цветом, так что при сопоставлении его с желтым, имеющим то же содержание черного, всякому кажется, что данная желтая гораздо тусклее ультрамарина. Поэтому, каждое «естественное» содержание черного у полного цвета надо считать гармоничным и принадлежащим данному полному цвету, и его нельзя включать в определяемое количество содержания черного. Это всегда подразумевалось нами выше при изложении предмета, и будет подразумеваться и в дальнейшем, что читатель и должен иметь в виду, несмотря на отсутствие специальных указаний на это в каждом отдельном случае.

Так как холодные и теплые цвета занимают, приблизительно, по половине цветового круга, то каждая пара дополнительных цветов содержит один холодный и один теплый цвет. Только пары цветов 33:83 и 38:88 не содержат этой противоположности, так как они находятся в местах переходов. Под прямым углом к ним лежат пары цветов 08:58 и 13:63—третий желтый и ультрамариновый синий и первый оранжевый—ледяной синий, которым можно приписать наибольшую противоположность по теплоте и холодности.

Светлые и темные хроматические цвета. Уже издавна известно, что желтый цвет самый светлый из всех цветов, в то время как наибольшая темнота лежит в фиолетовом и ультрамариновом синем; прочие цвета имеют промежуточные величины светлоты. Если точнее

просмотреть круг цветов (относящиеся сюда методы исследования были изложены выше), то самую большую величину светлоты найдем у первого желтого на границе его с лиственным зеленым и самую малую ее величину у первого ультрамаринового синего, на границе с фиолетовым; при этом оказывается, что первый имеет 0,9 светлоты белого цвета, а второй 0,1. Светлоты прочих промежуточных дополнительных цветов также дополняют друг друга до единицы.

Этим также дается другая противоположность цветов цветового круга. В то время как линия разделения между теплым и холодным идет приблизительно через точки 35 и 85, так что самая большая противоположность находится здесь у 10 и 60, линия оси противоположных светлот соединяет 00 и 50.

Цветовой круг не однороден. Геометрический круг называется однородным потому, что его можно вращать без того, чтобы изменилось какое-нибудь из его свойств. Очень часто делают ошибку и считают цветовой круг также однородным. Это совершенно не верно. Абсолютная память на цвета не дает возможности ставить знак равенства между желтым, оранжевым, красным и т. д., что равносильно такому вращению. Цветовой круг имеет в каждой из своих половин два полярных свойства: светлость—темноту, теплоту—холодность, что также делает безразличное перемещение невозможным. И оси этих двух противоположностей не совпадают.

Если мы в дальнейшем произведем одинаковое угловое деление в цветовом круге, то уже здесь должно заранее сказать, что никоим образом не получим «одинаковые» отрезки. В цветовом круге мы получаем здесь равенство только в том смысле, что величина порога чувствительности к разнице цветовых тонов всюду одинакова, все же другие определяющие величины в нем различны.

Обзор пар дополнительных цветов. В каждом цветовом круге двадцать четыре нормы цветовых тонов дают двенадцать пар дополнительных цветов; так как всего имеется двадцать восемь кругов, то число всех будет 336.

Уже в одном и том же круге различные пары влияют очень различно. Между 00 и 50 имеется самая большая разница в светлоте, которая при удалении уменьшается и почти исчезает у 25:75. Начиная отсюда она вновь увеличивается, но уже в обратном смысле, так как лиственный зеленый светел, а фиолетовый темен. У 8:58 до 13:63 находится самая большая противоположность по теплоте и холодности, которая становится наименьшей около 33:83.

Все эти различия вызывают очень различные душевные переживания, которые, конечно, легче прочувствовать, чем описать. Нельзя считать себя знающим цвета, если не знаешь эти впечатления настолько, что они вполне запечатлены в памяти.

В наибольшей мере психическое воздействие цвета зависит от его чистоты. Оно сильно, даже чрезвычайно сильно, в кругах pa и na, становится более мягким с уменьшением чистоты цвета, и, согласно этому, совсем смягчается при чистоте II. Эффекты комбинаций цветов будут охотно использованы и в таких областях, так как гармонии тусклых дополнительных цветов до сих пор, можно сказать, почти что вовсе неизвестны.

Триады. Кроме гармоний дополнительных цветов уже в течение столетий имеют большое применение «триады», как ценные гармонии, получающиеся от деления цветового круга на три части. Они широко использовались несмотря на то, что были неправильно определены и подбирались без сознательного учитывания равнозначности цветов. Поэтому,

можно полагать, что здесь мы имеем дело с действительно гармоничными отношениями, которые только требуют для того, чтобы выступить в своем чистом виде, выяснения и уточнения, с точки зрения измерительного цветоведения.

Психологическая равномерность рационального круга дает возможность заключить, что геометрическую одинаковость расстояния внутри правильной триады мы воспринимаем как одинаковые психологические расстояния, ощущаемые закономерными.

Если приготовим такие тройки из одного равнозначного цветового круга, то их всегда без труда можно признать гармоничными, с чем согласятся и другие.

То, что эти тройки обладают самостоятельной ценностью как гармонии, вытекает из другого замечательного факта. При пропуске одного цвета в них, остающаяся пара цветов производит впечатление исключительной гармоничности. Я лично нахожу такие двойки красивее (так как они более интересны), чем полные тройки, от которых благодаря всесторонней выравненности как-то веет скукой.

Число правильных троек в 24-ступенном цветовом круге равно восьми. Число полученных пар равно 24, так как каждая триада дает 3 двойки. Цвета отстоят друг от друга на расстоянии $33^1/_3$ ступеней круга; благодаря округлению цифр мы получаем два раза 33 и один раз 34. Для всех же 28 кругов мы получаем 224 тройки и 672 двоек.

Указатель гармоний. В начале нужен прибор, чтобы делить цветовой круг на триады простым механическим способом. Для этого приготовляют на белом картоне круг с 24 ступенями цветов, каковые и обозначаются номерами цветовых норм. Внутри укрепляют другой, меньший, вращающийся круг, на котором отмечают карандашом три расстояния 00:33:67. Если теперь, при помощи вращения, установим одну из отметок внутреннего круга на данный номер цвета, к которому мы желаем построить гармонирующую тройку, то две остальные отметки и покажут искомые номера.

Для того, чтобы тот же прибор можно было использовать для нахождения гармонических четверок, шестерок и т. д., на внутренний круг наклеивают хорошую рисовальную бумагу, которая может выдержать многократные подчистки [1]) для того, чтобы можно было на ней, в зависимости от надобности, нанести или вычеркнуть то или другое деление.

Характер триад. Равномерные тройки, в общем, производят впечатление более интересное, чем пары дополнительных цветов, так как нет такого физического или физиологического процесса, благодаря которому они бы проявились у нас самопроизвольно, а потому они обладают прелестью новизны. То, что они, все-таки, сейчас же признаются гармоничными, служит веским доказательством общеприложимости нашего основного правила: закономерность = гармония.

Полярные свойства цветового круга проявляются в триадах очень слабо, так как каждый раз два остальных цвета триады расходятся от полюса в обе стороны. У производных двоек выступает, благодаря их положению, характерная *односторонность*, которая и составляет существенную долю их красоты. Имеется целый ряд теплых и холодных двоек, наряду со смешанными. Большое удовольствие дает методическое рассмотрение всех этих гармоний, хотя бы на карточках нормированного цветового атласа.

Другие деления. Основное правило закономерности ведет к дальнейшим, еще меньшим, разделениям. Все же в начале, а вероятно и на

---

[1]) Фирма «Energiewerke» в Гроссботене изготовляет подобные сорта бумаги.

долгое еще время, можно удовлетвориться такими делениями, которые содержат множителями 2 и 3. Искусство звуков еще и по сей день вполне удовлетворяется при делении времени в своих произведениях этими факторами, а такт в $^5/_4$ пока-что применяется только в виде опыта. Таким образом, может быть речь еще только о деталях 4, 6 и 8.

При делении на четыре получаются две пары дополнительных цветов, симметрично расположенных друг к другу. Каждый из цветов отстоит от другого на 25 ступеней. Это, следовательно, очень закономерное расположение, которое производит и достаточно интересное впечатление, благодаря расстояниям в четверть круга.

Здесь и дальше неполные гармонии имеют едва ли не больший интерес, чем полные. Если один цвет пропустим, то мы получим пару дополнительных цветов с одним симметричным промежуточным членом. Если пропустим два цвета, то получаем аккорд из двух цветов, которые отстоят друг от друга на четверть круга. Почти все эти двойки производят сильное впечатление своей красотой.

Деление на шесть дается триадой с симметричными промежуточными цветами. Полные шестерки вряд ли найдут себе применение; зато имеется большой выбор неполных. Соседние двойки, которые отстоят друг от друга на расстоянии 16 или 17 ступеней, дают превосходные односторонние пары. Только в области ледяного синего и морского зеленого, которая нам меньше всего знакома, чувство расстояния начинает сказываться меньше.

То же самое, только в еще более сильной степени, относится к делению на восемь, являющемуся учетверением пар дополнительных цветов. Расстояние между точками 12 и 13, за исключением области сине-зеленого, всюду еще достаточно велико для того, чтобы можно было ощущать двойки или тройки как самостоятельные гармонии.

Это относится также и к делению на двенадцать, при котором пропускается только один промежуточный цветовой тон.

Соседние цветовые тона можно применять только с большой осторожностью, так как очень легко может получиться впечатление, что тут скрывается какая-то неопределенность окраски, которая, конечно, влияет как нечто некрасивое. В некоторых областях, а именно в фиолетовом и ультрамариново-синем, отчасти также и в красном, эта неопределенность может производить очень сильное впечатление, если взяты соответствующие цвета. Впечатление от этого сравнимо с vox humana на органе, что вызывается, как известно, тем, что звуки, издаваемые двумя язычками или трубами, чуть-чуть отличаются друг от друга по настройке, благодаря чему получается впечатление созвучия, особенно сильно на нас действующего.

В общем надо заметить, что с соседними цветами надо быть тем более осторожными, чем меньше чистота того цветового круга, из которого мы их берем.

Другие гармонии равнозначных цветов. Вышеописанные случаи, как они ни многочисленны, представляют собой лишь малую часть общего количества равнозначных гармоний, хотя и самую важную его часть. Для того, чтобы иметь представление об иных имеющихся здесь возможностях, необходимо понять, что не только деление на симметричные и одинаковые расстояния, но и всякое другое закономерное расположение цветов, дает гармонию, которая при сдвижении в цветовом круге может измениться 24 раза; благодаря же применению 28 кругов, общее число возможных изменений доходит до 672.

Особенно ясным и часто применяемым способом для нахождения хорошо понятных гармоний является *расщепление*. Исходят, например, из какой-нибудь простой двойной гармонии (дополнительные цвета, неполная тройка, четверка и т. д.) и разлагают один из ее цветов на два таким образом, что заменяют его двумя цветами, граничащими с ним с правой и с левой стороны непосредственно (или через одну, две и более промежуточных ступеней). При этом можно цвет сам выключить или оставить расщепленным. Таким же образом можно расщепить и второй цвет. То же можно проделать и с тройками и т. д. Такие установки цветов влияют особенно сильно, если они поддерживаются еще и формой расположения цветовых полей, если, например, оба расщепленные цвета расположены зеркально симметрично.

Как видно, число возможностей здесь бесконечно велико, так что скорее опасаешься затеряться в них. Но в этом-то и преимущество научной работы, что она при помощи теории соединений указывает на всевозможные, досягаемые случаи. Этим самым мы доводим их число до максимума, и в то же самое время упорядочиваем их и делаем легко обозримыми. Научную работу здесь можно сравнить с хорошей косильной машиной, которая не только жнет хлеб, но и связывает его в правильные снопы, и правильно разбрасывает эти последние, т.-е. дает материал в наилучшей для дальнейшего употребления форме.

Гармонии высшего порядка. До сих пор мы отдельно изучили три большие группы гармоний: ахроматические, однотонные и равнозначные. Попутно, все-таки, было указано на то, что не исключена возможность применения двух или трех видов гармоний в одном и том же цветном предмете. Сейчас же мы и должны подробнее разобрать вопрос о гармониях, составленных таким образом, или же о гармониях второго и высшего порядков.

Мы берем определенный цвет (кусок материи, цвет стены и т. д.) и спрашиваем: какие другие цвета сюда подходят. Эта и есть одна из тех форм, в которой проблема гармоний почти всегда ставится в практике; все остальные формы могут быть приведены к этой путем свободного выбора исходного цвета.

Допустим, что данный цвет соответствует некоторой точке в цветовом теле. Мы проводим через эту точку и ахроматическую ось поверхность и получаем таким образом однотонный треугольник, к коему принадлежит и наш цвет. В этом треугольнике мы проводим через соответствующую цвету точку три линии, параллельные сторонам треугольника, и дающие нам равночистые, равнобелые и равночерные цвета, к которым относится и данная точка нашего цвета. *На этих трех прямых и находятся все цвета, которые с данным цветом могут дать однотонные гармонии.*

Далее, мы проводим через данную точку цвета соответствующий ей равнозначный круг, центр которого совпадает с осью цветового тела; его плоскость перпендикулярна к плоскости треугольника. *В этом круге мы находим все цвета, которые могли бы дать равнозначные гармонии с данным цветом.*

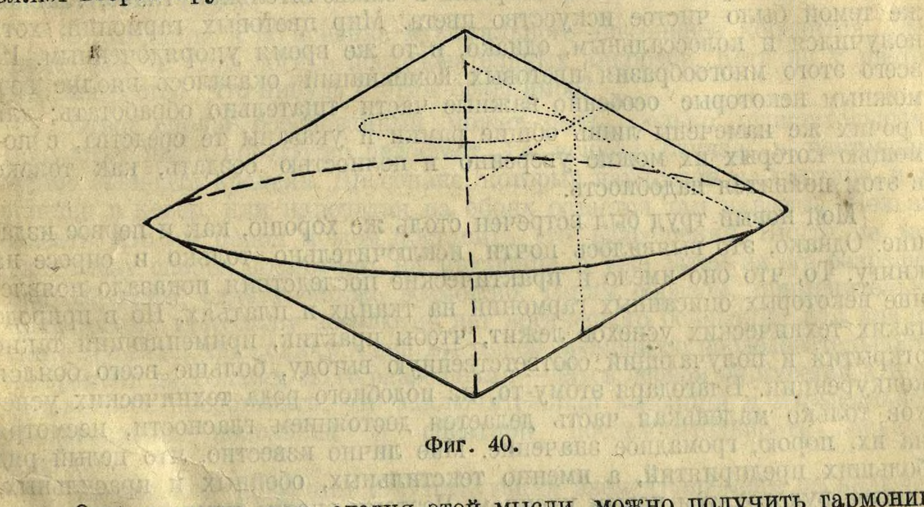
Три прямых линии в треугольнике перекрещиваются в точке данного цвета и образуют звезду с шестью лучами, не одинаковой длины, конечные точки которых находятся на сторонах треугольника. Перпендикулярно к центру звезды проходит равнозначный круг (см. фиг. 40).

Этот круг и звезда *содержат все цвета, которые непосредственно гармоничны с данным цветом.*

В нашем нормированном цветовом теле это дает всегда 38 цветов, включая и данный цвет, независимо от положения данной цветовой точки, а именно: 15 в треугольнике, 24 в круге, где данная точка, однако, считается вторично, так что в сумме получается 38.

Конечно, никогда не приводят одновременно все 38 цветов, также как никогда не нажимают одновременно на все клавиши органа. Все же следует знать, что таковое число дают все цвета, включая сюда и ахроматические, которые образуют с данным цветом полную гармонию; дело обстоит здесь так же, как и в музыке, где при удачном выборе клавишей органа можно воспроизводить любую звуковую гармонию.

Дальнейшее развитие этой простейшей группы гармонии состоит в том, что через каждую из 37 цветовых точек, которые сюда относятся, можно провести новый цветовой круг и получить, таким образом, новые 37 цветов, которые могут образовать с первоначальным цветом гармонию второго порядка. Для того, чтобы это было понятно, должно быть ясно, что здесь мы имеем дело с семейством тех вторых цветов, которые составляют второй круг звезды.



Фиг. 40.

Отсюда видно, как, следуя этой мысли, можно получить гармонии третьего и высшего порядка. Но еще далеко не пришло то время, чтоб эти гармонии нашли себе практическое применение.

Обзор пройденного. Если окинуть взором все то, что было здесь изложено относительно цветовых гармоний, то получается яркое впечатление почти не вообразимого многообразия, которое может быть упорядочено только строгой закономерностью изложения результатов, касающихся отдельных единичных групп. При этом это все же только наружная рама, в которую укладывается вся *наличность* гармоний. Внутреннее же *содержание* их создается теми разнообразными психическими влияниями, которые связаны с различными гармониями; мы могли лишь попутно указать на некоторые из них. Ведь эти области, в общем, еще не исследованы, и всякий может пожать здесь богатую жатву, кто только поймет предмет.

Это есть естественное следствие того, что знание законов гармоний насчитывает за собой всего лишь несколько лет. В одной из моих работ, озаглавленной «Гармония цветов» и появившейся в 1918 г., я попробовал сделать первую вылазку в эту новую область на основании только что открытых тогда методов измерения цветов; при этом я полагал в основу главный закон: *закономерность-гармония.* Но общее понятие

нормирования еще не было тогда достаточно хорошо разработано, я не учитывал еще также и всей важности закона Фехнера и основанного на нем логарифмического цветового круга. Содержание этой работы считалось, главным образом, с задачами натуралистической живописи, чистое же искусство цвета, которое бы, подобно музыке, освободилось от воспроизведения реальных вещей и самостоятельно работало над собственным материалом, я тогда еще не имел в виду.

В течение нескольких лет, когда расходилось первое издание названной книги, у меня развивалась, благодаря моим продолжающимся работам, выше изложенная точка зрения. Когда же в 1920 г. я перерабатывал второе издание «Гармонии цветов», я уже сумел дать ей вполне развиться. Получился совершенно новый труд, которому я все-таки оставил старое название, так как оно еще больше подходило к новому содержанию. После этого стало вполне возможным методически развивать всевозможные гармонические комбинации цветов, на основании нормированного логарифмического цветового тела. Натуралистические применения гармоний были собраны в заключительной главе, главной же темой было чистое искусство цвета. Мир цветовых гармоний, хотя получился и колоссальным, однако, в то же время упорядоченным. Из всего этого многообразия цветовых комбинаций оказалось вполне возможным некоторые особенно важные части тщательно обработать; для прочих же намечены лишь общие рамки и указаны те средства, с помощью которых их можно уверенно и полностью создать, как только в этом появится надобность.

Мой новый труд был встречен столь же хорошо, как и первое издание. Однако, это выявилось почти исключительно только в спросе на книгу. То, что оно имело и практические последствия показало появление некоторых описанных гармоний на тканях и платьях. Но в природе таких технических успехов лежит, чтобы практик, применяющий такие открытия и получающий соответственную выгоду, больше всего боялся конкуренции. Благодаря этому-то, из подобного рода технических успехов только маленькая часть делается достоянием гласности, несмотря на их, порою, громадное значение. Мне лично известно, что целый ряд больших предприятий, а именно текстильных, обойных и красильных, вполне руководятся новым учением. Поэтому вполне понятно, что достаточно большой тираж второго издания «Гармонии» быстро разошелся. Оказалось необходимым издать третье, которое дополняет второе лишь в немногом.

На эту книгу (Verlag Unesma, Leipzig) я должен указать читателю, который желал бы углубиться в эту область, бесконечно увлекательную и необычайно плодотворную. Практическая работа, состоящая в изготовлении образцов гармоничных по цветам, приносит с собой неиссякаемое удовольствие. Почти всегда мы получаем новые, никогда до этого не виданные гармонии, которые переживаешь впервые и к которым все-таки, быстро привыкаешь благодаря их закономерности. Как часто я не мог оторваться от работы, хотя больная спина давно и напоминала о том, что не следует особенно изнурять свои силы. И если иногда вечером приготовленные листы с образцами гармоний не производили вначале особенного впечатления, благодаря отсутствию синего цвета в освещении лампы, тем большую радость приносили они с собой при рассматривании их на следующее утро.

Диссонансы. До сих пор речь шла только о гармониях. Музыка же, соотношения которой, благодаря ее высокому развитию, служат как бы образцом для будущего искусства цвета, как известно, широко приме-

няет и диссонансы. От некоторых представителей самых современных направлений живописи мне приходилось слышать, что учение о цветовых гармониях без диссонансов для современного художника непонятно, а потому и не может иметь прикладного значения.

Всякое сравнение хромает. Если хотят с успехом использовать какое-нибудь сравнение, то оно должно, как удачно указал *Геринг*, стоять на своей здоровой ноге, но не на больной. В данном случае приведенное соображение художников стоит как раз на больной ноге.

Согласно научной теории музыкальной гармонии, как она разработана *А. Эттингеном*, диссонанс получается из двух (или трех) различных аккордов, которые одновременно звучат, а потому и мешают друг другу. Прекращение диссонанса есть общий новый аккорд, к которому могут притти обе составные части некоторым закономерным, а потому и понятным переходом.. На этом основан особый характер разрешения диссонанса; это не то, чтобы какой-нибудь приятный звук следовал за неприятным и производил подобный эффект: здесь имеется особого рода закономерная связь.

Оправдание и об'яснение музыкального диссонанса коренится, следовательно, в этой логике последовательных аккордов. Есть ли у цветового искусства что-нибудь с этим сравнимое?

Ответ вполне обоснованный, может быть только отрицательным. Искусству цвета абсолютно недостает, во всяком случае, в настоящее время элемента *времени*. Диссонанс, который нарисован на картине, или вплетен в ковер, или напечатан на обоях остается там навсегда. Нельзя сказать, что мы рядом можем поставить его разрешения. Ничто не мешает глазу сперва посмотреть на диссонанс, а уже затем на его разрешение; обратное, однако, также возможно. Таким образом, применительно к цветовому искусству абсолютно нет логического основания для аналогии с музыкой, поскольку в ней мы имеем временную последовательность во времени диссонанса и его разрешения—чего в первом не имеется. Стоит только себе представить, что заключительная каденция в музыкальном произведении исполнена в обратной последовательности звуков. Ужасно!

До тех пор пока этот отсутствующий элемент времени не включен в искусство цвета (или вообще искусство *света*), в каком направлении уже делаются заслуживающие внимания попытки,—диссонанс не имеет здесь права на существование. Если вспомним громадное множество гармоний второго и высшего порядка, то мы здесь будем иметь нечто подобное диссонансам в музыке, однако, все же органически своеобразное и свойственное цветам. Здесь мы имеем дело с впечатлением от нахождения закономерности в таких цветах, связанность которых сразу не дается нашему взору. Однако наслаждение здесь зависит от того, насколько мы способны наблюдать более простые гармонии.

Формы. Когда гармонично соединяем два или больше цвета, то с необходимостью получается при этом известная *форма*, благодаря тому, что цвета граничат друг с другом. Формы также должны быть составлены закономерно, для того, чтобы красиво влиять, т.-е. они не должны своей некрасивостью мешать впечатлению цветовой гармонии. Для того, чтобы методически изучить гармонии цветов, мы должны раньше знать гармонии форм.

Сознание этой необходимости заставило меня предпринять исследование и гармонии форм и провести его настолько, чтобы важнейшие требования гармоний цветов могли быть удовлетворены. Как основа служит и здесь то же главное правило: закономерность = гармония. За-

дача состояла в том, чтобы разыскать все закономерные формы и изобразить их. Решение же задачи было найдено тем же путем,, который привел к цели и в мире цветов: установление элементарных закономерных соотношений и перечисление всяческих частных комбинаций, вытекающих отсюда. Также как и относительно цветов: большая часть работы была проведена так, что сравнительно немного случаев было воспроизведено в действительности, для остальных же даны лишь указания с помощью которых их всегда можно воспроизводить.

В настоящем сочинении нет возможности дать даже простого перечисления полученных результатов. Самое основное можно найти в моей книге: «Гармония форм» (Die Harmonie der Formen. Leipzig, 1922 г.) и таблице: «Мир форм» (Die Welt der Formen. Изд. там же). Необходимо здесь же указать на эти работы, так как они имеют существенное значение для цветовых гармоний.

При изготовлении какого-нибудь сочетания с тремя цветами (для чего лучше всего брать серую гармонию, так как она самая простая), оказывается возможным минимум шесть различных расположений этих трех цветных полей. Результаты этих расположений выглядят настолько различными, что надо сперва специально убеждаться в том, что они приготовлены из одних и тех же цветов. Надо добавить, что при этом и степень их красоты различна. Обыкновенно два сочетания бывают значительно красивее остальных четырех; иногда лишь одна комбинация выделяется изо всех остальных. Это означает, что совершенно не безразлично, каким образом цвета данной гармонии расположены друг относительно друга: *красота цветов очень зависит от формы, которую они составляют.*

Отсюда следует, что учение о красоте в искусстве света, часть которой составляет гармония цветов, распадается на три основные части: на гармонию цветов, гармонию форм и на учение о взаимном влиянии формы и цвета. Обе первые части даны нами в виде очерка здесь. Так как книга о гармонии цветов появилась в свет в 1918 и 1920 г., а книга о гармонии форм только в 1921 г., то неудивительно, что вопрос о третьей, т.-е. книге о взаимном влиянии цвета и формы, в настоящее время (начало 1923 г.) существует только как пожелание или как программа для будущей работы, но не как оформленное уже нечто.

Но было все же важно изложить и эту программу. Рядом с цветом и формой не существует чего либо третьего того же порядка. Поэтому, когда третья часть учения об искусстве света будет разработана, то можно будет считать границы предмета окончательно данными и дальнейшая работа будет ограничиваться лишь заполнением этих рамок соответствующим содержанием.

Пока что, в качестве первоначального шага в область этой третьей науки спросим, как надо поступать, если данный образец слагается из цветных поверхностей, очень различных по своей величине.

При изложении гармоний цветов мы сделали выше молчаливую предпосылку, что в любой гармонии каждый цвет в отдельности надо рассматривать, как равноценный, т.-е. положили, что каждый цвет занимает, приблизительно, одинаковую поверхность.

Ответ, который я нашел для случая, когда перед нами цветные поля очень неравных размеров, можно выразить следующей формулой: *«чем меньше поле, тем чище»*.

Но так как цвета теневых рядов одинаково чисты, то они здесь в виду не имеются. Больше всего сказанное относится к тому случаю, когда мы имеем дело с равнобелыми цветами. У этих самые светлые

цвета, также и самые чистые, темные же становятся все более грязными и заканчиваются в соответственном сером нулевой чистоты. Заменяют, поэтому, тот цвет, который дан следуя простому закону гармоний, соседним или последующей более чистой ступенью соответственных равно белых цветов и этим выравнивают недостаток в площади занимаемой данным цветом.

Правило: «чем меньше, тем чище», пригодно не только для относительных поверхностных величин, но также и для абсолютных. Чем меньше окрашиваемая поверхность, тем чище могут или должны быть ее цвета. Маленькая картинка с очень чистыми цветами влияет восхитительно, если цвета гармонично подобраны, в то время, как эти же цвета производят пренеприятное впечатление при больших размерах цветных площадей. На маленьких безделушках цвета камней и эмалей все еще оказываются не достаточно чистыми,—целое же полотно, окрашенное в яркий красный цвет киновари или в яркий ализариновый синий уже сомнительно в смысле красоты; целый же фасад дома окрашенный в такие же цвета является кричащим варварством. Наоборот, на больших поверхностях, цвета с чистотой II обнаруживают совсем неожиданную хроматичность, так что, как видно, здесь будет нужно придерживаться чистоты I. Все значение этого закона для разрешения современной проблемы хроматического окрашивания фасадов домов сразу видно.

Этим мы нашли подход и к вышеупомянутой третьей области,—подход, который дает нам возможность предусматривать много ценного, чего мы сможем достичь здесь в будущем.

Орган цветов. Если вышенаписанные страницы оправдали бы некоторым образом ту цель, ради которой они были написаны, то они вызовут у читателя потребность посмотреть цветовые гармонии лично и самому применить их где можно в своих изделиях. Встает вопрос: как это осуществить. Ответ может быть двойной: посредством цветового органа. Отношения здесь таковые же, как и в звуковом искусстве.

Для вызывания звуков служат с одной стороны такие инструменты, как человеческий голос, скрипка и т. п., которые в границах своего диапазона, могут производить любые звуки, или же имеются инструменты с установленной высотой тонов, как рояль, орган, духовые инструменты, которые издают лишь звуки определенной хроматической гаммы.

В технической и художественной живописи до сих пор держались только первого пути. Так как цвета вообще не были нормированы, то вообще и не могло быть и речи о нормированных величинах. В настоящее же время, когда имеется проработанная система норм, которая охватывает, также как и в музыке, все богатство всевозможных гармоний, возникает настойчивая потребность работать с твердо установленными цветами, подобно тому, как то имеется в органе—царице всех музыкальных инструментов; это обстоятельство и привело к созданию органа цветов.

Но раньше, чем такой способ станет общеупотребительным, необходимо, чтоб и ныне применяемый способ свободной расцветки был приноровлен к требованиям нормированности цветов. Этого достигают тем, что берут одну из карточек нормированных цветов с тем, чтобы обычным путем смешения отдельных пигментов на палитре и т. п. получить именно данный искомый цвет. Это удается с масляными красками, которые в дальнейшем не изменяются, но очень затруднительно с водяными красками, которые при высыхании меняются. Здесь особенно насущна потребность заранее, раз навсегда, установить нормированные цвета, т. е. потребность в цветовом органе.

Под цветовым органом я подразумеваю, в полном согласии с тем, что разумеется под звуковым органом, такой прибор, который дает возможность получения на указанном месте любого нормированного цвета. Мы будем иметь, следовательно, столько же сортов цветовых органов, сколько имеется способов приготовления красок и их нанесения на поверхность. Безусловной предпосылкой является то, чтоб цветовой орган был правильно «настроен», т.-е. чтобы его цвета соответствовали нормам.

Если вспомним, что число цветовых норм до *p*, не менее, чем 680, и, если также вспомним трудность установки каждого такого нормированного цвета, то нам станет понятным, что построение такого органа очень трудная и дорогая задача. Если, например, желаем приготовить цветовой орган из кроющих красок и если для каждого цвета мы имеем в виду приготовить один килограмм краски, то для готового органа понадобится вес в 680 килограмм, не считая всех принадлежностей, что при теперешних ценах на краски будет стоить весьма дорого. При этом, в противоположность к звуковому органу, который от употребления не уменьшается, цветовой орган при употреблении расходуется. Если желают свободно пользоваться органом, то необходим достаточный запас нормированных красок. Зато действия органа цветов не улетучиваются в самый момент их появления, как это имеет место у органа звукового, но выступают как существа независимые от времени и сохраняющиеся, поскольку вообще краски прочны.

Формы приготовления атласа цветовых норм. В первую очередь от цветового органа требуется, чтобы он дал возможность быстро и удобно приготовить требуемую гармонию, чтобы сделать наглядным ее действие. Это необходимо как для исследовательских, так и для практических целей.

Самым простым способом мы удовлетворяем эту потребность при помощи нормированного атласа. Под этим надо понимать набор 680 карточек средней величины, которые дают все 680 цветовых норм и носят на обратной стороне соответствующие обозначения цвета. Желаемые цвета выбирают согласно этому обозначению и раскладывают выбранные так карточки рядом друг с другом для того, чтобы судить об их одновременном действии. Так как в выборе и составлении карт имеется полная свобода, то нормированный атлас составляет как бы своего рода универсальный инструмент со всеми своими преимуществами и недостатками.

Преимущества состоят во всесторонности возможных здесь комбинаций и в легкости получения результатов, так как требуется только выбрать соответствующие карты и положить их рядом друг с другом. Если следят за тем, чтобы использованные карты тотчас же обратно класть на свое место, то данным прибором можно пользоваться долгое время.

Недостаток его состоит в том, что мы связаны формой карт, т.-е. приходится отказаться от свободной вариации формы цветных полей. Дальше, нельзя долго сохранять однажды приготовленную гармонию, если желают употребить атлас и для других целей; необходимо удовлетворяться здесь лишь записыванием обозначений соответствующих карт и, при надобности, повторным их составлением.

В зависимости от условий выбирают эту форму применения или одну из нижеописываемых. Для первоначальной ориентировки в данной области атлас является самым лучшим вспомогательным средством.

Карточки могут быть расположены в коробочках с указательными карточками и подразделениями, как у всякой другой картотеки. Или же

24 карточки равнозначного круга располагают каждые друг возле друга на одной таблице, благодаря чему гораздо легче получить и запечатлеть образ всего мира цветов. Это второе расположение, несмотря на ее гораздо более высокую цену, больше всего в ходу.

При расположении карточек друг возле друга в гармоническое сочетание, цвет фона имеет большое значение для результирующего впечатления. Поэтому берут такой цвет, который бы гармонировал с цветом карточек. Это происходит легче всего тогда, если имеются наготове восемь таблиц серых норм acegilnp, из коих выбирают самую темную, буква которой встречается среди буквенных обозначений хроматических карт.

Бумажный орган. Значительно большую свободу действий предоставляет употребление нормированной цветной бумаги. Хотя фабрикация обыкновенной цветной бумаги еще и не так далеко ушла, чтобы могла нормировать свои цвета, фирмой «Energiewerke» в Гроссботене изготовляются цветные бумаги особым способом, которые так хорошо соответствуют нормам, что большего нельзя и ожидать от фабричной работы. Они вполне удовлетворительны для технических и художественных целей; полной научной точности фабричным путем достичь никак нельзя, так как это неимоверно удорожило бы производство, а потому ее и не добиваются.

Такой бумаге при помощи ножниц можно придать любую желаемую форму, а наклеиванием можно осуществить предусмотренную гармонию при выбранных формах цветных полей. Наклеенные цвета можно долго сохранять; зато сама работа требует соответственного расхода материалов.

В настоящее время еще не проделана колоссальная работа по приготовлению цветной бумаги всех 680 нормированных цветов, но уже приготовлено их несколько сот. Имеется в виду продолжать эту работу, пока набор не будет полным.

Бумаги издаются тетрадками равнозначных цветов по 8 главных цветов или по 24 нормированных цвета в каждой; расположение органа, поэтому, легко обозримо и сохраняемо, если получаемые при работе свободные обрезки кладут опять на их место в тетрадке.

Жидкий орган. Из жидких цветных тушей можно приготовить орган для общего употребления таким образом: растворы, установленные на цветовые нормы, вливают в плотно закрывающиеся бутылочки; при помощи сухой или хорошо отжатой кисточки их, как лессировочные краски, наносят на белую бумагу, где имеется соответствующий контур. Так как такого рода растворы сами ложатся очень равномерно, то чистое накрашивание ими не представляет особых трудностей и легко дает приятные, красивые раскраски.

Глубина получаемых цветов зависит от рода накрашивания и сорта бумаги. Лучше всего работать достаточно мокрым способом и вместо дорогой рисовальной бумаги применять любую не сатинированную («машинногладкую») писчую или желатинированную печатную бумагу. На твердой рисовальной бумаге накрашивания получаются заметно более светлыми, чем на писчей или печатной бумаге. Так как это равномерно касается всех красок, то гармонии от этого не страдают.

Жидкий орган дает возможность вполне свободного выбора формы и очень быстрой работы. Так как благодаря разработанному общему плану цветовых гармоний с самого начала работы имеется полная ясность относительно применяемых цветов, то остается только одно, а именно разрисовка поверхностей этими соответствующими различными красками органа, красками уже готовыми к употреблению. Поэтому эту

работу можно произвести и при помощи помощников, которые могут ничего больше не знать, кроме расположения органа и техники накрашивания. Но эта работа так приятна, что—особенно вначале—не хочется и выпускать ее из своих рук.

Жидкий орган полностью изготовляется фирмой «Energiewerke».

Орган красок-таблеток. Чисто лессировочный характер жидкого органа обусловливает то, что перерисовка или поправка невозможны; поэтому очень затруднительно приготовление таких рисунков, которые содержат много деталей на одинаковом фоне.

Полную свободу в смысле перекрытия и исправлений получаешь тогда, когда лессировочные краски заменяются *кроющими.* Первая форма цветового органа, который я приготовил три года тому назад, и была сделана из такого материала. Кроющие краски (в качестве связывающего вещества в них служит декстрин с умягчающими прибавками) в форме таблеток или лепешек были помещены в металлические чашечки и по 24 краски равнозначного круга были соединены в один «регистр». Все 28 регистров удалось поместить в одну коробку, размером 18×26×30 ст., которая удобно помещается на рабочем столе и позволяет достать любой «тон» простым протягиванием руки.

С таким органом цветных таблеток я произвел большую часть моих работ. Он вполне соответствует своему назначению в применении к более малым вещам, которые не требуют много краски, так как затирка больших количеств материала неудобна и требует много времени. Он удобен также и тогда, когда не хотят, как обычно, портить кисточку, а пользуются деревянной палочкой, очищенной с концов, толщиной в 5 мм., а длиной в 5 ст. В смысле удобства применения, орган красок-таблеток превосходит все другие формы и поэтому являются самым лучшим вспомогательным средством для первоначальных набросков и эскизов, особенно там, где в качестве основания служит радированная бумага. Тогда возможно добиться желаемых результатов в невероятно короткое время.

Орган красок-порошков. Благодаря своей многосторонней применяемости и легкости употребления, орган красок-порошков может быть обозначен, как *главная форма цветового органа.*

Он содержит 680 красок в виде порошков, которые при смешении с жидким связующим веществом дают соответствующие, легко накрашиваемые, кроющие краски, после высыхания соответствующие нормированным цветам.

Его недостаток, по сравнению с органом красок-таблеток, состоит в несколько меньшем удобстве пользования им. Порошки находятся в отчетливо обозначенных мешечках, сделанных из плотной бумаги. Я нахожу самым удобным четырехугольную форму с квадратным сечением, 20 мм. в ширину, 70 мм. в вышину, сверху открытую; 680 таких мешечков можно свободно установить на столике с поверхностью в 50×60 ст., который стоит рядом с рисовальным столом; их можно также удобно помещать в выдвижных ящиках шкапа.

Преимущество этого вида органа состоит в том, что с его помощью можно с одинаковым удобством выполнять, как большие, так и малые работы. Если оперируют маленькими количествами краски, то сперва обмакивают кисточку в связывающее вещество, затем, после стряхивания, в порошок краски. На кисточке остается столько краски, сколько можно проработать на палитре (стеклянной или порцелановой дощечке и т. п.) в равномерную краску правильной силы; этим и рисуют. Если же нужно большие количества ее, то следует взять нужное количество порошка в одну чашечку (1 грамм покрывает от 250 до 300 квадратных сантиметров поверхности) и присоединить к нему столько

связывающего вещества, сколько порошок может свободно в себя впитать; только после этого можно взяться за кисточку. Большей частью правильными соотношениями будут одинаковые весовые части порошка и связывающего вещества. Это дает состав, легко и удобно принимаемый рисовальным грунтом, что обусловливает очень приятное накрашивание.

Пользуясь органом красок порошков, можно также быстро окрасить бумагу в нормированные цвета, о чем и было упомянуто выше. В качестве основания может служить всякая бумага с хорошей поверхностью (машинно-гладкая, не сатинированная). С твердой рисовальной бумаги клеевые краски легко соскакивают, поэтому ее и нужно избегать даже и там, где вопрос о цене бумаги не имеет значения. Кисточка должна быть широкой и мягкой; вскоре научаешься накрашивать равномерно и не слишком толсто.

При первых цветовых органах, которые были мною изготовлены, я употреблял красящие вещества, дававшие мне самые насыщенные цвета, не обращая при этом особого внимания на их технические свойства (стойкость по отношению к воздействию воды и света). Когда я узнал после долголетней работы, какие ценности таит в себе орган цветов, я изготовил новый орган красок-порошков. Это было мною начато в конце 1922 г. из самого светопрочного материала, который только нам дает наша техника. Его можно изготовить для всех цветов не наибольшей чистоты, без всякого исключения; светло-чистые же цвета, бедные белыми лучами, начиная от ga и дальше, не всегда доступны имеющимся светопрочным краскам, в особенности же их нет для холодной половины цветового круга. Здесь, а также и в соседних самых глубоких кругах pc и pc, приходится поэтому пользоваться отчасти красками недостаточно прочными по отношению к свету. Они будут заменены красками прочными, как только красочная промышленность научится такие изготовлять.

Оглавление.

Стр.

Предисловие С. В. Кравкова.—«О значении работ В. Оствальда в области учения о цветах» 3

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ.

Общее учение о цветах.

Глава 1. История учения о цветах 15

Общее.—Первые попытки.—Красящие вещества и цвета. — Ньютоновское учение о цветах.—Противоречие.—Цветовой круг.—Деление цветового круга.—Учение о трех цветах.—Другие попытки упорядочить мир цветов.—Треугольники Майера.—Цветовая пирамида Ламберта.—Цветовой шар Рунге.—Цветовой полушар по Шеврёлю.—Достижения и промахи.—Другие стороны науки о цветах.—Учение Гёте о цветах.—Шопенгауэр. — Гельмгольц. — Грассманн. — Максвэлл. — Э. Геринг.—Палочки и колбочки.—Заключение.

Глава 2. Свет 33

Общее.—Свойства световых лучей.—Отражение, преломление, поглощение.—Блеск.—Преломление.—Светорассеяние.—Спектроскоп.—Полное отражение. — Поглощение. — Цвета предметов. — Диффракция.—Диффракционный (решетчатый) спектр.

Глава 3. Процесс зрения 39

Общее.—Чувствительность и косность.—Закон Вебера — Фехнера.—Формулировка закона Фехнера.—Порог ощущения.—Общее значение порога.—Закон упрощения.—Глаз.—Цвета вещей.

Глава 4. Ахроматические цвета 46

Общее.—Происхождение ахроматических цветов.—Понятия.—Характеристика ахроматического ряда.—Измерение ахроматических цветов.—Закон Фехнера.—Бесконечность и порог ощущения.—Пространственная схема.—Нормы.—Цвета и звуки.—Гармония.—Нормы и гармонии.—Шкала серых цветов, как измерительный прибор.

Глава 5. Круг цветовых тонов 56

Хроматическое (цветное) и ахроматическое (бесцветное).—Круг цветовых тонов.—Приготовление круга цветовых тонов.—Принцип внутренней симметрии. — Дополнительные цвета. — Нормирование круга цветовых тонов.—Более старые конструкции цветового круга.—Цвета и длины волн. — Подтверждение.—Отношение вышеизложенного к учению о трех цветах.—Нормы цветовых тонов.

Глава 6. Цветовые однотонные треугольники 66

Общее.—Треугольник.—Особые линии в треугольнике.—Закон Фехнера в применении к хроматическим цветам.—Аналитический и логарифмический треугольник.—Аналитически и психологически равночистые цвета.—Нормирование однотонных цветов.—Обозначения цветов.—Ряды затененности цветов и ступени чистоты.

Глава 7. Цветовое тело 75

Цветовое тело.—Нормированное цветовое тело.—Равнозначные круги.—Упрек.—Метрические свойства цветового тела.—Закон Фехнера, как закон границ.

Глава 8. Учение о цветовом полукруге 79

Противоречие.—Разрешение противоречия.—Желтый цвет предметов.—Цветовой полукруг.—Естественная чернота холодных цветов.—Описание цветовых полукругов.—Обзор.—Дополнительные цвета.—Белое и черное в цветах предметов.—Цвета однородных лучей.—Содержание белого и черного.—Цветные края.—Цвета интерференционные.—Светлота (Helligkeit) полных цветов.—Мутная среда.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ.

Прикладное цветоведение.

I ОТДЕЛ.

Измерение цветов.

Глава 9. Измерение ахроматических цветов 97

Общее. — Полутеневой фотометр. — Нормальный белый цвет. — Шкалы серых цветов. — Измерение блеска.

Глава 10. Измерение цветового тона 105

Общее.—Косвенный прием определения цветового тона.—Прямой метод определения.— Практический прием.— Поми.— Шкалы цветовых тонов.

Глава 11. Измерение содержания белого и черного в хроматических цветах 110

Основная мысль.—Светофильтры.— Измерение содержания черного в пурпурных цветах.—Производство измерения.

Глава 12. Опосредствованные измерения 113

Понятие.—Ахроматические шкалы.—Хроматические шкалы.

II ОТДЕЛ.

Физико-химические явления.

Глава 13. Смешение цветов 117

Прежние познания.—Аддитивные (слагательные) и субтрактивные (вычитательные) смеси. — Законы аддитивных смесей. — Метамерные цвета.—Метамерные серые.—Метамерные хроматические цвета.—Неравнозначность метамерных цветов.— Результат смещения цветов.— Практическое значение.— Как надо аддитивно смешивать цвета.— Субтрактивные смеси.—Законы субтрактивных смесей.—Дополнительные цвета.—Разбавление.—Цветовой тон.—Опыты.—Смеси различных цветовых тонов. — Особенности субтрактивного смешения. — Практические применения.—Теория субтрактивных смесей.—Смеси соседних красок.—Желтый с оранжевым.—Оранжевый с красным.—Красный с фиолетовым.—Фиолетовый с ультрамариновым синим.—Ультрамариновый синий с ледяным-синим. — Ледяной-синий с морским-зеленым.—Морской-зеленый с лиственным-зеленым и лиственный-зеленый с желтым.

Глава 14. Физическая химия красящих веществ 134

Общее.—Белые вещества.—Кроющая способность.—Внутренняя оптическая неодинаковость.—Измерение кроющей способности.—Кроющая способность и окрашивание.—Черные краски.—Сажа и чернение.—Влиятельность цветной краски.—Коллоидальный углерод.—Коллоидальное состояние.—Получение вещества в коллоидальном состоянии.—Хроматические красители. — Цветность элементов. — Желтые, оранжевые и красные красители. — Наилучшая величина зерен краски. — Одинаковость зерен. – Фиолетовые, синие и зеленые красители.—Каменноугольные краски.—Главные группы.—Основные красители.—Кислые каменноугольные краски. — Нерастворимые каменноугольные краски.

Глава 15. Связывающие вещества красителей 157

Установление основных понятий.—Механически связывающие вещества.—Масла, олифы и лаки.—Масляная живопись.—Лаки.—Углеводы.—Связующие вещества, содержащие азот.—Белок.—Крашение.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ.

Психофизические соотношения.

Глава 16. Физиология глаза 165

Зрение.—Глаз.—Палочки и колбочки.—Цветоощущающий орган.—Последовательные образы и явления контраста.—Контраст. — Расстройство цветоощущения.

Глава 17. Цвет как изобразительное средство 171

Задача.—Символика языка и рисунка.—Цветовая символика.—Система цветовых символов.—Число цветовых тонов.—Технические вспомогательные приспособления.—Дальнейшее.

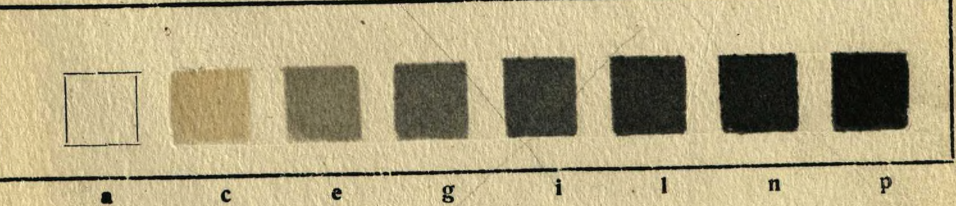
Глава 18. Гармония цветов 177

Главный закон учения о красоте.—Гармонии серых цветов.—Хроматические гармонии.—Две главные группы. Однотонные гармонии — Оттенки. — Другие однотонные ряды. — Ахроматически-хроматические гармонии. — «Белое и черное не портят гармонии». — Гармонии цветов различных по своему цветовому тону. — Деление цветового круга. — Дополнительные цвета. — Теплые и холодные цвета.— Светлые и темные хроматические цвета. — Цветовой круг не однороден. — Обзор пар дополнительных цветов. — Триады. — Указатель гармоний.—Характер триад.—Другие деления.—Другие гармонии равнозначных цветов. — Гармонии высшего порядка. — Обзор пройденного.—Диссонансы. — Формы.—Орган цветов.—Формы приготовления атласа цветовых норм.—Бумажный орган.—Жидкий орган.—Орган красок—таблеток.—Орган красок—порошков.

ЖЕЛТЫЙ • ОРАНЖЕВЫЙ • КРАСНЫЙ • ФИОЛЕТОВЫЙ • УЛЬТР. СИНИЙ • ЛЕДЯНОЙ СИНИЙ • МОРСКОЙ ЗЕЛЕНЫЙ • ЛИСТВЕН. ЗЕЛЕНЫЙ •

00 4 8 13 17 21 25 29 33 38 42 46 50 54 58 63 67 71 75 79 83 88 92 96

24 НОРМЫ ЦВЕТОВЫХ ТОНОВ

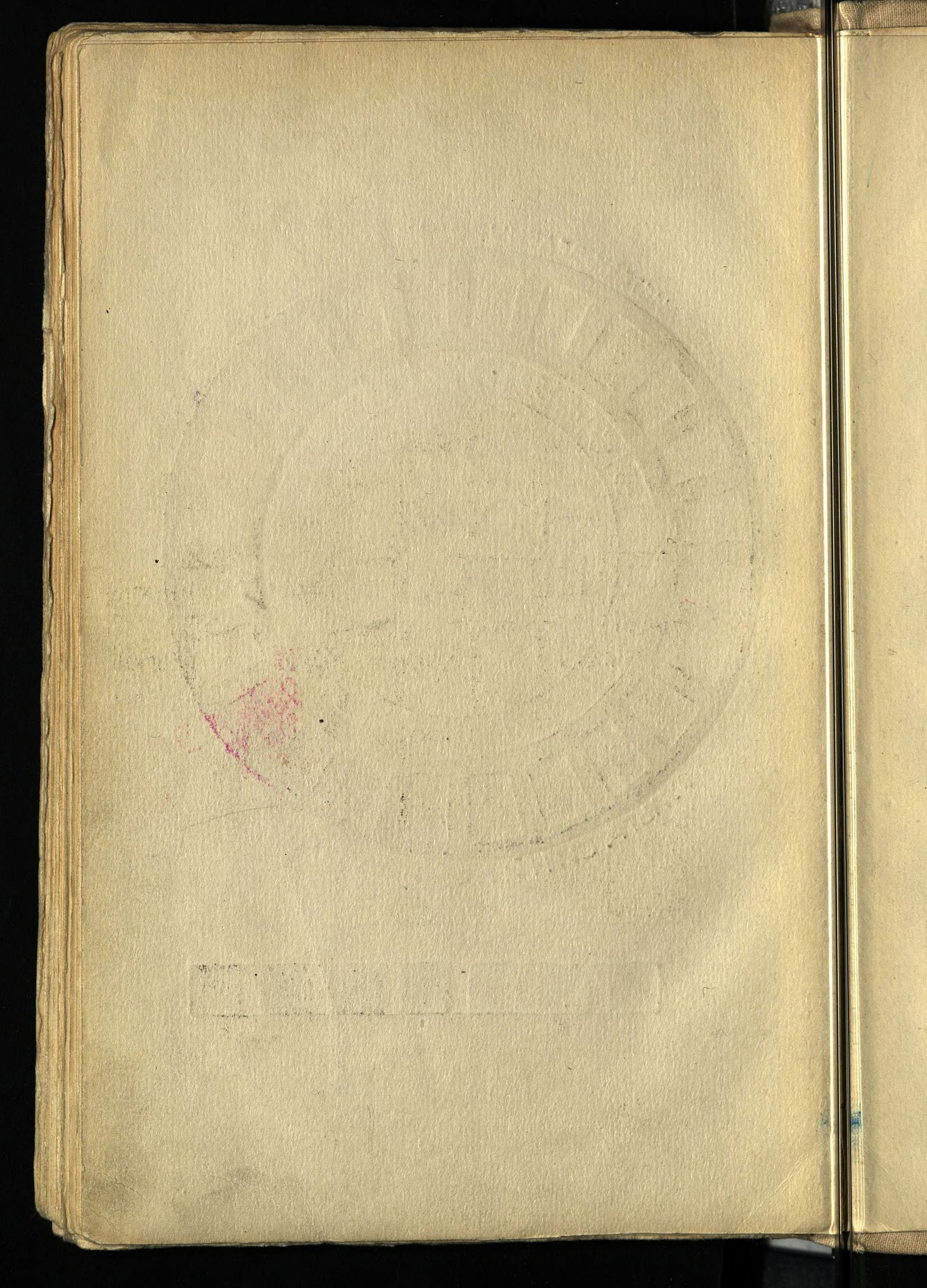


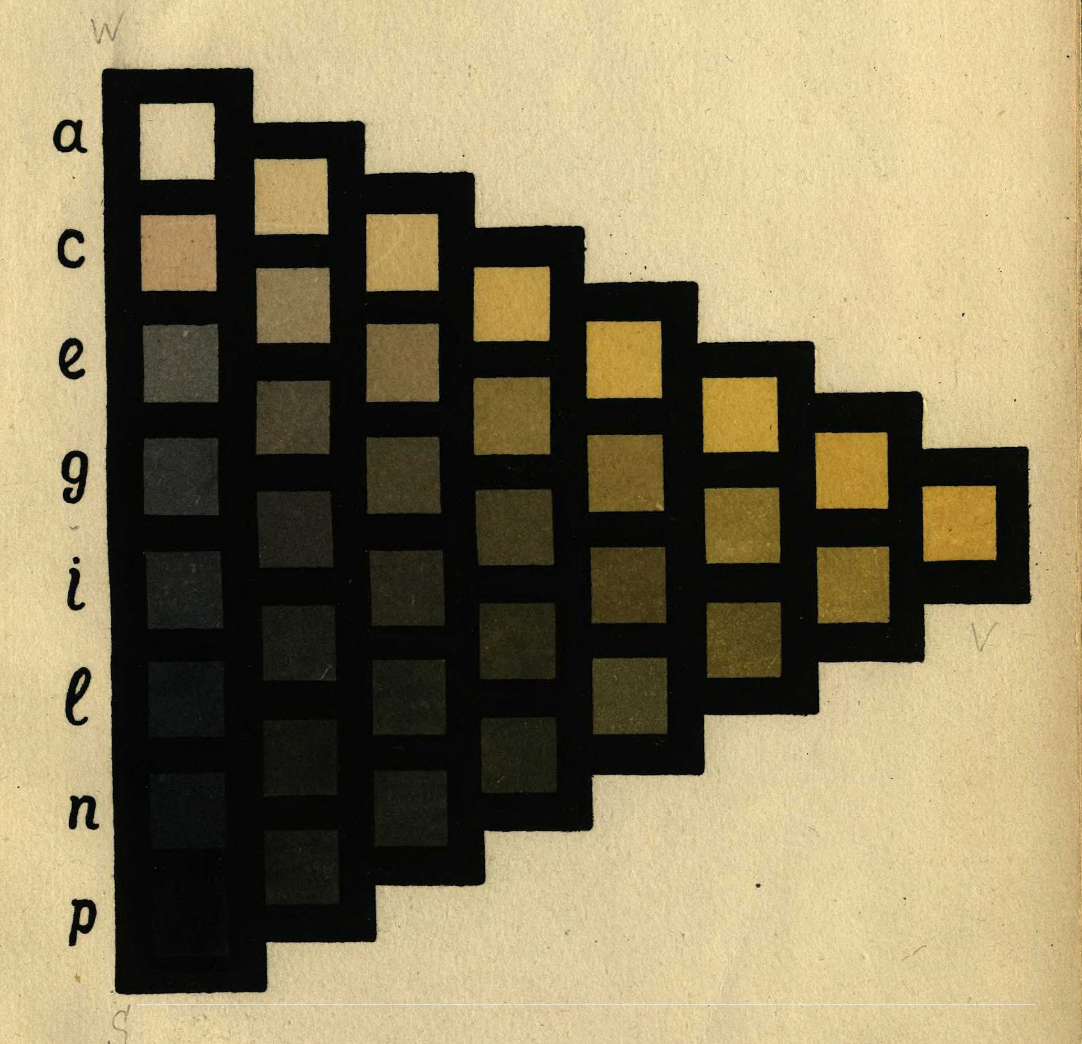
a c e g i l n p

АХРОМАТИЧЕСКИЕ НОРМЫ

Краски и однопрокатный способ печати одновременно во всех тонах проф. Н. В. Туркина.

Высшие Государственные Художественно-Технические мастерские. Москва.





ОДНОТОННЫЙ ТРЕУГОЛЬНИК

Краски и однопрокатный способ печати одновременно во всех тонах проф. Н. В. Туркина.

Цветоведение. Оствальд.

Высшие Государственные Художественно-Технические мастерские. Москва.


2007057897